



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**NÁVRH A IMPLEMENTACE ŘÍDÍCÍHO
PROGRAMU PRO ROBOTICKOU BUŇKU**

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A CONTROL PROGRAM FOR A ROBOTIC CELL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Kořenek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Roman Parák

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Miroslav Kořenek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **Ing. Roman Parák**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh a implementace řídicího programu pro robotickou buňku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zahrnovat řešení problematiky v oblasti manipulačních robotických pracovišť, řídicích prostředků společnosti Omron a průmyslových robotů společnosti Fanuc s jejich konkrétním vývojovým prostředím. Teoretická část práce bude také obsahovat základní charakteristiky zvolené robotické buňky a popis hlavních částí.

Předmětem práce bude návrh řídicího programu pro robotickou buňku za pomoci simulačního prostředí Fanuc Roboguide od společnosti Fanuc a programovacího prostředí Sysmac studio od společnosti Omron. Závěr práce bude věnován implementaci návrhu řídicího programu a ověření funkčnosti vytvořeného řešení simulací a na reálné robotické buňce.

Práce bude realizována ve spolupráci s firmou TRYSTOM spol. s r.o., která poskytne řídicí prostředky a část know-how v oblasti řízení pohonů a robotů.

Cíle bakalářské práce:

- Nastudujte problematiku manipulačních robotických pracovišť. Zpracujte přehled aktuálního stavu v dané oblasti.
- Provedte řešení řídicích prostředků společnosti Omron a vývojového prostředí Sysmac Studio.
- Provedte řešení průmyslových robotů společnosti Fanuc a vývojového prostředí Roboguide. Blíže popište zvoleného průmyslového robota série M – 10.
- Popište základní charakteristiku a hlavní částí robotické buňky.
- Navrhněte a implementujte řídicí program pro robotickou buňku.
- Ověřte funkčnost vytvořeného řešení pomocí simulace a na reálné robotické buňce.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SICILIANO, Bruno a KHATIB, Oussama, ed. Springer handbook of robotics. 2nd edition. Berlin: Springer, [2016]. ISBN 978-3-319-32550-7.

CUBERO, S.: Industrial robotics: theory, modelling and control. Mammendorf: Pro-Literatur-Verl.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je návrh a implementace řídicího programu pro robotickou buňku. V úvodu je popsána problematika manipulačních pracovišť a rozdělení dané oblasti. Další kapitola se věnuje společnosti Omron a jejímu sortimentu se zaměřením na řídicí prostředky v automatizaci. Následující část popisuje společnost Fanuc a její sortiment s důrazem na průmyslové roboty. Další kapitola se zabývá popisem účelu a návrhem konstrukce robotické buňky včetně systémové integrace. Závěrečná část práce se zabývá návrhem řídicích programů pro PLC Omron a průmyslového robota Fanuc. Navazuje tvorbou vizualizace aplikace pro HMI obrazovku Omron. Poslední část je věnována ověření navrženého řešení pomocí simulace robotu, implementaci řešení do reálné robotické buňky a ověření jako funkčnosti.

ABSTRACT

The aim of an bachelor's thesis is a design and implementation of a control program for a robotic cell. The introduction describes an area of robotic handling workplaces and a division of the area topic. The next chapter deals with Omron compny and its products, especially automation control devices. The next part presents a Fanuc company and its products, especially industrial robots. The following chapter deals with the purpose and design of the robotic workcell and also with a description of system integration. The topic of a last part of the work is the design of control programs for Omron PLC and Fanuc industrial robot. Follows a visualization proposal for an Omron HMI screen. The last part is devoted to testing the designed solution with a simulation of robot with subsequent implementation and testing of the solution on a real robotic workcell.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotická buňka, PLC, Fanuc, Omron, Sysmac Studio, Roboguide, HMI, šestiosý robot, simulace

KEYWORDS

Robotic workcell, PLC, Fanuc, Omron, Sysmac Studio, Roboguide, HMI, six axis robot, simulation



ÚSTAV AUTOMATIZACE
A INFORMATIKY



2021

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOŘENEK, Miroslav. *Návrh a implementace řídicího programu pro robotickou buňku*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132479>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Roman Paráček.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat Ing. Romanu Parákovi za cenné rady a odborné vedení. Dále děkuji společnosti TRYSTOM, spol. s r. o. za poskytnutí veškerých prostředků potřebných k realizaci bakalářské práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 22. 5. 2021

.....
Miroslav Kořenek

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	MANIPULAČNÍ ROBOTICKÁ PRACOVISTĚ	17
2.1	Co je to manipulační aplikace	17
2.2	Rozdělení podle aplikací	17
2.2.1	Montáž a výroba	17
2.2.2	Balení.....	18
2.2.3	Bin Picking	19
2.2.4	Inspekce kvality	19
2.3	Rozdělení podle druhu robotu	20
2.3.1	Šestiosý robot	20
2.3.2	Scara robot.....	21
2.3.3	Delta robot	22
2.3.4	Kolaborativní roboty.....	22
2.4	Průmysl 4.0.....	23
3	ŘÍDICÍ PROSTŘEDKY SPOLEČNOSTI OMRON	25
3.1	Historie společnosti Omron	25
3.2	Sortiment společnosti Omron	26
3.3	CPU NX1P2-9024DT1	28
3.4	Sysmac Studio IDE.....	29
4	ŘÍDICÍ PROSTŘEDKY SPOLEČNOSTI FANUC	31
4.1	Historie společnosti Fanuc.....	31
4.2	Sortiment společnosti Fanuc	32
4.3	Robot Mate M-10 iD/12	33
4.4	Roboguide.....	34
5	NÁVRH ROBOTICKÉ BUNKY.....	37
5.1	Robotická buňka	37
5.2	Zadání robotické buňky	37
5.3	Zařízení robotické buňky	39
5.3.1	Sestava vibračních podavačů	39
5.3.2	Rám rozvaděčů	41
5.3.3	Sestava robotu.....	42
5.3.4	Pásový dopravník a NOK skluz.....	44
5.3.5	Vstříkovací lis	45
5.4	Řídicí systém	46
5.5	Systémová integrace	50
6	NÁVRH A IMPLEMENTACE ŘÍDICÍHO PROGRAMU PRO ROBOTICKOU BUŇKU	53
6.1	Řídicí prostředky	53
6.2	PLC.....	53
6.2.1	Hlavní řídicí stavový automat.....	54
6.2.2	Průmyslová komunikace: Robot <> PLC	56
6.2.3	Průmyslová komunikace: Robotická buňka <> HMI Panel	58
6.3	Řízení průmyslového robotu	58
6.4	Návrh uživatelského rozhraní HMI	63
6.5	Simulace	66

6.6	Skutečná robotická buňka	69
7	ZÁVĚR.....	71
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY“	73
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	75

1 ÚVOD

Trend robotizace a automatizace v průmyslu v posledních desetiletích výrazně stoupá. Tato tendence se týká všech odvětví robotizace. Ať už se jedná o manipulační aplikace, kamerovou inspekci nebo svařovací pracoviště. Současně s tlakem na automatizaci výroby přichází tlak na implementaci technologií z kategorie Průmyslu 4.0. Implementace chytrých a automatizovaných technologií ve výrobě zvyšuje produktivitu a výdělečnost podniků. Zvyšující se podíl těchto technologií ve výrobě vytváří tlak na společnosti, které se doposud automatizaci vyhýbaly. Pro udržení konkurenceschopnosti plánovala v roce 2019 investici do robotizace čtvrtina firem v České republice. Situace se týká nejen velkých výrobců v automobilovém průmyslu, ale také menších společností [1]. Spolu s nástupem automatizované výroby a Průmyslu 4.0 vznikají obavy o zaměstnání, jejichž činnost je pomocí moderních technologií nahraditelná [2]. Současné odhady hovoří o třetině pracovních míst. Zaniklé pracovní pozice by měly být nahrazeny novými, které však budou vyžadovat vyšší kvalifikaci. Právě nedostatek technických pracovníků a firem nabízejících implementaci automatizovaných technologií zpomalují přerod současného průmyslu. Jednou z činností nezbytných pro realizaci automatizovaných pracovišť je návrh a implementace řídicích programů pro roboty a jiné řídicí prvky. [3]

Cílem práce je navrhnout a implementovat řídicí programy pro manipulační robotické pracoviště jehož úkolem je spolupráce šestiosého robotu Fanuc se vstřikovacím lisem. Součástí řídicích prostředků pracoviště je PLC a HMI obrazovka od společnosti Omron. Práce začíná úvodem do problematiky manipulačních robotických pracovišť nazývaných Pick and Place (kap. 2). Popis je strukturován podle druhů jednotlivých aplikací a podle typu používaných robotů. Na vymezení problematiky manipulačních pracovišť navazuje popis Průmyslu 4.0. Druhá část práce se věnuje přiblížení společností Fanuc a Omron, které jsou významnými světovými dodavateli automatizačních technologií (kap. 3, 4). Kapitoly začínají představením historie společností, na které navazuje přehled sortimentu s bližším popisem produktu zvoleného pro robotickou buňku. V závěru jsou popsány nástroje sloužící k vývoji řídicích programů. Třetí část práce se věnuje popisu robotické buňky (kap. 5). V úvodu kapitoly jsou popsány nároky a požadavky na pracoviště. Další část se zaměřuje na popis konstrukce a účelu jednotlivých zařízení. Tématem třetí části je představení řídicích prostředků použitých pro systémovou integraci. V závěru je pomocí schématu popsán pneumatický obvod a systémová integrace řídicích prvků. Závěrečná kapitola je věnována samotnému řešení návrhu a implementace řídicího programu (kap. 6). První je popsána tvorba řídicího programu pro PLC. Navazuje popis navrženého řízení průmyslového robotu. Další část se zabývá vývojem vizualizace pro operátorský panel HMI. Navržené řešení je implementováno a ověřeno pomocí simulace v následující podkapitole. Závěrečná podkapitola popisuje průběh implementace navrženého řešení do skutečné robotické buňky a její výsledky.

2 MANIPULAČNÍ ROBOTICKÁ PRACOVÍŠTĚ

Následující kapitola se zabývá představením problematiky manipulačních robotických pracovišť. V úvodu je blíže popsán rozsah a charakteristika robotických aplikací nazývaných Pick and Place. Následuje podrobný popis rozdělení těchto aplikací nejprve podle druhu robotem vykonávané činnosti a poté podle konstrukčního uspořádání průmyslových robotů.

2.1 Co je to manipulační aplikace

S rostoucím tlakem na využití automatizace ve výrobě stoupá i množství práce, kterou na produkčních linkách a zařízeních vykonávají průmyslové roboty. Tento trend se týká všech druhů robotických aplikací a všech průmyslových odvětví. Typy robotických aplikací můžeme rozdělit podle charakteru robotem vykonávané činnosti. Mezi ty nejznámější potom můžeme zařadit svařování, lakování, montáž, obrábění, manipulaci, inspekci kvality a balení. [4]

Nejstarším účelem použití průmyslového robotu první generace byly aplikace manipulačního charakteru, které bychom mohli nazvat frází „Pick and Place“ [5, 6]. Již z anglického názvu vyplývá, že primárním účelem těchto robotů je uchopit a umístit produkt. Charakteristickým znakem těchto aplikací jsou úchopové koncové efekторы. Význam těchto aplikací je hlavně v náhradě monotónní činnosti lidského pracovníka, který se může věnovat komplexnější činnosti. Kromě úspory pracovních sil jsou velkou výhodou i charakteristiky moderních průmyslových robotů. Jejich použitím docílíme zrychlení, zefektivnění, zpřesnění a často zvýšení bezpečnosti výroby, a tudíž vyšších zisků z produkce. V reálném prostředí se často setkáme se situací, ve které robot vykonává nejen manipulační činnost, ale i několik dalších operací jiného charakteru. To je umožněno vysokou universalitou dnešních robotů a částečně způsobeno tlakem na co největší efektivitu investice a náhradu monotónní lidské práce. Manipulační buňky tak často obsahují systémy pro kontrolu kvality, jsou v nich vykonávány montážní operace nebo balení.

2.2 Rozdělení podle aplikací

Pick and place aplikace můžeme rozdělit podle charakteru vykonávané činnosti. A to jak podle účelu činnosti manipulační, tak podle kombinace manipulace a jiných operací.

2.2.1 Montáž a výroba

Primárním účelem robotovi činnosti v aplikacích z kategorie montáže a výroby je manipulace s polotovary, hotovými výrobky nebo kompletace montážních celků jakožto část výrobního procesu produktu. Příkladem takové aplikace může být zakládání polotovaru do obráběcího centra nebo zakládání zálisků do vstřikovacích lisů a následně

odebírání hotových výlisků z formy. Součástí výrobních a montážních buněk zpravidla bývá stanoviště na přípravu manipulovaných výrobků, které robot odebírá a umísťuje. Může se jednat například o pásový dopravník nebo vibrační podavač. Součástí manipulace může být i dílčí operace obrábění, jako je odjehlení výrobku odebraného z obráběcího centra. Druh robotu pro tyto aplikace vybíráme podle charakteristiky dráhy, zatížení, manipulačního času a vzdálenosti. Na obrázku č. 1 můžeme vidět kolaborativní robot od společnosti Fanuc při montáži elektronických součástek. [4]



Obr. 1: Robot při montáži elektronických součástek [7]

2.2.2 Balení

Balení je svým charakterem vykonávané činnosti ve většině případů čistě manipulační aplikací. Jedná se o situaci, ve které robot odebírá hotová balení z příslušného podávacího systému, kterým může být například pásový dopravník, a umísťuje je uspořádaně zpravidla na připravenou transportní paletu. Tomuto druhu aplikace se také říká paletizace. Součástí sortimentu většiny světových výrobců robotů jsou speciální paletizační modely, které mají menší počet pohybových os. Nižší pohybové možnosti nejsou v tomto případě omezením vzhledem k jednoduchosti trajektorie, a právě naopak představují úsporu oproti investici do šestiosého robotu, jehož potenciál by zůstal nevyužitý. Příklad paletizačního robotu můžeme vidět na obrázku č. 2. [4]



Obr. 2: Aplikace paletizačního robotu [8]

2.2.3 Bin Picking

Bin Picking je speciální druh aplikace, kdy robot odebírá náhodně uspořádané díly z připravených nádob (*Random Bin Picking*). V nádobách mohou být umístěny výrobky různého druhu, tvaru a barvy. K rozpoznání správné součásti jsou pracoviště nebo roboty vybaveny speciálními 3D kamerovými systémy. Nejprve proběhne detekce dílů a poté je robot na základě získaných dat odebírá a manipuluje podle dané aplikace. [4]

Tento přístup odstraňuje potřebu díly pro robot předem orientovat, z čehož plyne hlavní výhoda této technologie, kterou můžeme zařadit do Průmyslu 4.0. Výroba zařízení pro orientaci a podávání dílů může být dlouhá, nákladná nebo těžko realizovatelná, například při vysoké teplotě nebo složitém tvaru dílů. Další nevýhodou je nízká variabilita jednoúčelových podávacích zařízení, u kterých přestavba na jiný druh výrobku znamená často komplikované mechanické úpravy. Mezi hlavní výhody aplikací Bin Picking tak patří úspora času, místa a hlavně snadná změna aplikace na jiný produkt. Nevýhodou je vysoká počáteční investice do detekčního systému. Robot při aplikaci Bin Picking je na obrázku č. 3. [4] [9]



Obr. 3: Šestiosý robot při aplikaci Bin Picking [5]

2.2.4 Inspekce kvality

Pro inspekci kvality jsou roboty nebo pracoviště vybaveny pokročilým kamerovým systémem, díky kterému poznají jakost daného výrobku. Současným trendem je

umísťovat kamerové hlavice přímo na koncový efektor robotu, díky čemuž je možné snížit počet potřebných kamer a snímat tak jednou hlavicí z různých poloh. Ve spojení s manipulací se jedná zpravidla o inspekci dílů menších rozměrů nebo váhy, které robot po provedení kontroly umístí na příslušné místo. U výrobků velkých rozměrů a hmotností je robot často osazen samotným kamerovým systémem a provádí pouze inspekci. Důležitým faktorem ovlivňujícím kvalitu kamerové kontroly jsou světelné podmínky na pracovišti a jejich součástí tak bývají zařízení tyto podmínky upravující. Příklad inspekčního pracoviště můžeme vidět na obrázku č. 4. [4]



Obr. 4: Robotické pracoviště pro inspekci kvality [10]

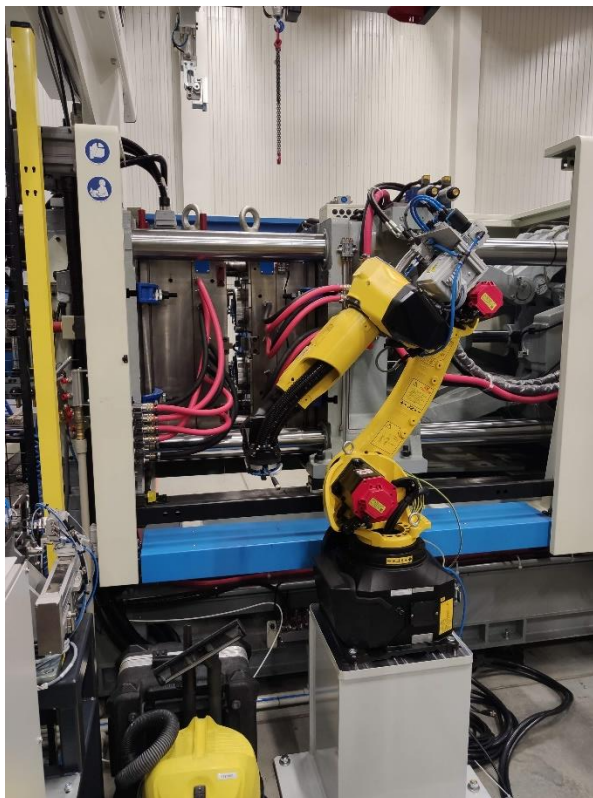
2.3 Rozdělení podle druhu robotu

Kromě různých druhů manipulačních aplikací existují i různé varianty průmyslových robotů. Jednotlivé druhy se mohou lišit počtem pohybových os nebo typem kinematického uspořádání. Různé vlastnosti stanovují silné a slabé stránky jednotlivých modelů a určují míru do jaké jsou vhodné pro konkrétní druh aplikace. V následujících podkapitolách jsou popsány v současnosti nejpoužívanější druhy průmyslových robotů. [4]

2.3.1 Šestiosý robot

Šestiosý robot je nejčastěji používaným druhem průmyslového robotu. Jedná se o robotické rameno složené z šesti rotačních samostatně regulovatelných os. Robot využívá sériovou kinematickou strukturu a díky tomu vyniká vysokou variabilitou použití [2]. Oproti jiným konstrukcím robotů je šestiosé robotické rameno nasazováno hlavně na aplikace se složitější dráhou pohybu a větším pracovním prostorem, ve kterých je potřeba vykonávat různé úkony. Nevýhodou konstrukce šestiosého robotu je sčítající se sériová chyba jednotlivých os a relativně vysoká hmotnost, a tudíž nižší rychlost na krátké dráze. Díky těmto nevýhodám je tento robot méně vhodný pro aplikace s krátkou dráhou pohybu a vysokým důrazem na rychlost. V současnosti šestiosý robot z ekonomických důvodů nahrazuje aplikace realizovatelné pomocí sestav tříosých manipulátorů, a to hlavně díky

jeho variabilitě pohybu, rychlosti nasazení do provozu a snadnosti změny řídicího programu. Mezi oblasti využití můžeme zařadit téměř všechny druhy aplikací, jako například odebírání výrobků z dopravníků nebo jiných podavačů a jejich umístění do montážních sestav, spolupráci se vstřikovacím lisem, svařování, paletizaci, Bin Picking nebo inspekci kvality. Příklad šestiosého robotu můžeme vidět na obrázku č. 5. [11] [4]



Obr. 5: Šestiosý průmyslový robot Fanuc při manipulační úloze

2.3.2 Scara robot

Scara je další druh robotu využívající sériovou kinematiku. Skládá se ze čtyř samostatně říditelných os, z nichž tři jsou rotační a kolmé k základně robotu a jedna je translační se svislým směrem pohybu [2]. Z konstrukce robotu je patrné, že variabilita využití není tak velká jako u šestiosého ramene. Jednodušší mechanická konstrukce a nižší hmotnost umožňují dosažení vyššího zrychlení, a robot je tedy vhodný pro rychlostní aplikace s kratší dráhou. Dalo by se říct, že se jedná o robot paletizační. Scara je často nasazována i do jednoúčelových strojů jako náhrada tříosých manipulátorů. V porovnání s nimi se dokáže snadněji přizpůsobit úpravou trajektorie v případě změny konstrukce zařízení a ušetřit tak čas nutný na přestavbu stroje například z důvodu změny produktu. Mezi výhody patří také snadná aplikace na různé druhy produktů díky větší volnosti pohybu. Jedním z důvodů častého nasazování těchto ramen jsou jejich klesající náklady na implementaci v porovnání s rostoucí cenou práce vývoje jednoúčelových strojů a manipulátorů. Příklad SCARA robotu je na obrázku č. 6. [12] [6]



Obr. 6: Scara robot od společnosti Epson [13]

2.3.3 Delta robot

Delta robot je zařízení s paralelní kinematikou, které se na první pohled tvarem a principem odlišuje od již zmíněných robotů [2]. V horní části zařízení jsou uloženy pohony, které přes kulové klouby ovládají tenká a lehká ramena spojená na koncové platformě. Z tohoto uspořádání plyne největší výhoda těchto robotů, kterou je vysoké zrychlení a koncová rychlost. Nevýhodou pramenící ze stejné podstaty je krátký dosah a nízká užitečná hmotnost. Pro své vlastnosti jsou Delta roboty často nasazovány spolu s kamerovým systémem k dopravním pásům, kde přerovnávají neuspořádané produkty na druhý pás za chodu. Dle konstrukce můžou tyto roboty mít tři až šest os. Delta robot je zobrazen na obrázku č. 7. [14] [11] [7] [4]



Obr. 7: Delta robot Fanuc [15]

2.3.4 Kolaborativní roboty

Samostatnou kategorií jsou v poslední době stále populárnější kolaborativní roboty (někdy nazývané spolupracující, případně silově poddajné). Jejich charakteristickou

vlastností je, jak již název napovídá, že mohou spolupracovat ve stejném pracovním prostoru s člověkem. Integrace bezpečnostních prvků odstraňuje nutnost stavět kolem robotického pracoviště ochranné oplocení. Zvýšená bezpečnost zařízení však působí na úkor výkonu stroje. Projevuje se to například na užitečném zatížení, nebo na maximálním zrychlení ramene. Dalším velkým úskalím pro použití kolaborativních robotů jsou bezpečnostní normy ve vztahu k manipulovaným produktům a koncovým efektorům. Pokud je potřeba manipulovat ostrý nebo příliš těžký předmět, je použití této technologie zbytečné a vzhledem k nutnosti použití oplocení dosáhneme lepšího výkonu robotické buňky použitím klasického šestiosého robotu. Příklad kolaborativního robotu je na obrázku č. 8. [4]



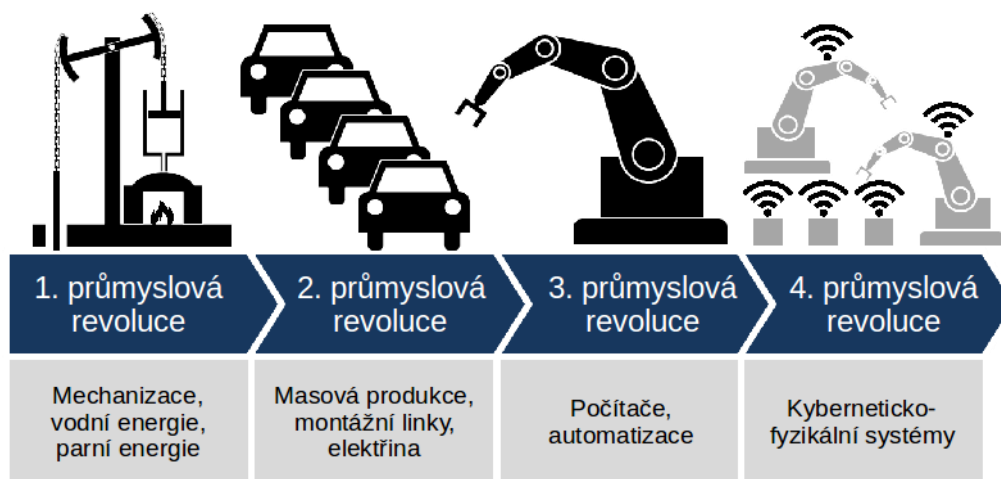
Obr. 8: Kolaborativní robot značky Doosan [10]

2.4 Průmysl 4.0

Průmysl 4.0 neboli čtvrtá průmyslová revoluce je označení pro současný trend digitalizace. Tento koncept byl představen v dokumentu v roce 2013 na veletrhu v Hannoveru [2], ale jeho základy se objevily již v roce 2011. Základem této vize v průmyslovém sektoru je tzv. chytrá továrna, ve které všechny jednoduché rozhodovací a opakující se činnosti kompletně převezmou stroje. Celá továrna tak bude využívat pro své řízení kyberneticko-fyzikálních systémů jako jsou průmyslové roboty připojené na internet, cloudová úložiště, datová centra, chytré sklady a jiné technologie umožňující autonomní řízení výroby. Díky hromadnému sběru dat by se měla zvyšovat a usnadňovat míra implementace autodiagnostiky a autokonfigurace výrobních a řídicích systémů.

Tyto kroky s sebou přinášejí nutnost změn v rozložení pracovních pozic. Spolu s přechodem na průmysl 4.0 se předpokládá zánik mnoha pracovních míst s nižší kvalifikací. Na jedno zaniklé místo by mělo vzniknout 2,5 nových pracovních míst, která však budou vyžadovat vyšší kvalifikaci pracovníků. Převážně se bude jednat o technické profese týkající se oblasti IT a automatizace. Technická dokonalost průmyslu by měla také

přinést vyšší efektivitu práce, zvýšit životní úroveň populace a snížit dopady na životní prostředí. Spolu s avizovanými přínosy s sebou přechod na průmysl 4.0 nese vzhledem k závislosti na datových technologiích i zvýšené riziko hackerských útoků a zneužití dat. Obrázek č. 9 zobrazuje posloupnost průmyslových revolucí. [2] [12]



Obr. 9: Průmyslové revoluce [17]

3 ŘÍDICÍ PROSTŘEDKY SPOLEČNOSTI OMRON

Tato kapitola se zabývá řídicími prostředky pro průmyslovou automatizaci od společnosti Omron. V úvodní podkapitole je představena historie společnosti. Následuje popis sortimentu v různých oblastech, kterým se Omron věnuje, s důrazem na průmyslovou automatizaci. Další část je věnována bližšímu popisu řídicího automatu NX1P2-9024DT1. Závěrečná podkapitola se zabývá vývojovým prostředím Sysmac Studio, které slouží k tvorbě řídicích programů.

3.1 Historie společnosti Omron

Omron Corporation je japonská firma zabývající se výrobou v různých elektrotechnických odvětvích. Společnost založil v roce 1933 pod původním názvem Tateishi Electric Manufacturing Company Kazuma Taeishi. Impuls k založení společnosti byl krach na americké burze v roce 1929 a neshoda s nadřizenými v původním zaměstnání, kde Kazuma Taeishi pracoval. Původní sídlo společnosti bylo ve městě Osaka a jedním z prvních produktů byly lisy na kalhoty. Dalším významným výrobkem byl rentgen, kterým společnost vstoupila do lékařského průmyslu. Krátce před druhou světovou válkou se firma zabývala vývojem elektronických mikrosplínačů, které se jim povedlo úspěšně sestavit. Bohužel příchod války zamezil dosažení komerčního úspěchu. Během druhé světové války vyhořela původní továrna a společnost se přestěhovala do nového sídla ve městě Kyoto. Krátce na to bylo změněno jméno společnosti jako symbol nového startu na Omron Tateishi Electronics. Kazuma věřil, že výroba a inovace jsou klíčem k obnově poválečného Japonska. Firma se soustředila na posílení obchodu svých produktů jako byly mikrosplínače, teplotní splínače, a tlakové splínače. Další vývoj byl ovlivněn Kazumovou návštěvou v USA, kde se setkal s automatizací. Vzniklo také nové moto společnosti: „*At work for a better life, a better world for all*“. S novým zaměřením se společnosti podařilo vyvinout bezdotykový splínač, díky kterému se firma stala průkopníkem v automatizaci. Následovaly vynálezy jako automaty na jídelní lístky. Ve spolupráci s americkými firmami byl také vyvinut automat, který akceptoval platební karty a stal se tak základem pro pozdější vývoj výběrových automatů. Velkým pokrokem v té době byl vývoj turniketu a stavba vlakové stanice bez lidské obsluhy. V roce 1990 by změněn název společnosti na Omron Corporation z důvodu složité vyslovitelnosti jména zakladatele v Evropě, kde byla otevřena pobočka. V současnosti se společnost zabývá vývojem a výrobou zdravotnické techniky, komponentů pro průmyslovou automatizaci, inspekčních systémů, elektronických komponentů, a má pobočky po celém světě. [18]

3.2 Sortiment společnosti Omron

Jak již bylo nastíněno v historii společnosti, Omron se zabývá vývojem a výrobou produktů ve čtyřech oblastech: [19]

- Zdravotnická technika.
- Průmyslová automatizace.
- Inspekční systémy.
- Elektronické komponenty.

Zdravotnická technika

V oblasti zdravotnické techniky se Omron řadí mezi přední společnosti v kategorii medicínského zařízení pro terapii a sledování zdravotního stavu. Mezi sortiment této divize patří: [19]

- Přístroje pro měření krevního tlaku.
- Zařízení pro měření tělesné teploty.
- Respirační zařízení.
- Monitory tělesného tuku.

Inspekční systémy

Inspekční systémy Omronu jsou zaměřeny na testování defektů plošných spojů. Tato zařízení pracují na principu rentgenového skenování výrobků a analýze získaných 3D dat. Příkladem hledaného defektu je špatně zapájený spoj. [19]

Elektronické komponenty

Kategorie elektronických komponentů je širokou oblastí, do které patří velké množství výrobků. Oblasti, kterým se Omron věnuje jsou tyto: [19]

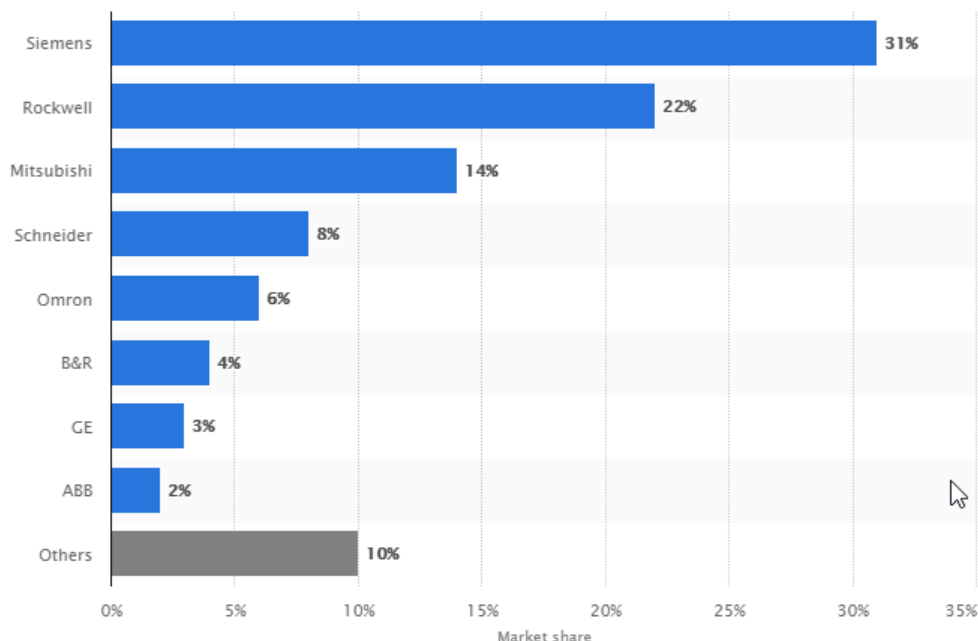
- Konektory.
- Snímače obrazu.
- Mikrosnímače zrychlení a náklonu MEMS.
- Mikrosnímací zařízení.
- Relátka.
- Spínače.

Společnost Omron patří mezi světové lídry v oblasti spínačů používaných pro počítačové klávesnice a myši.

Průmyslová automatizace

Omron je jedním z předních světových výrobců komponent pro průmyslovou automatizaci. Zabývá se jak vývojem automatizačních systémů, jako jsou PLC (Programovatelný Logický Automat) nebo průmyslová PC (*Personal Computer*), tak produkcí robotů. Součástí sortimentu jsou i HMI (*Human Machine Interface*) panely a

veškeré periferie pro automatizovaná pracoviště, jako jsou snímače polohy, kamerová čidla nebo bezpečnostní komponenty. V roce 2017 patřil společnosti na celosvětovém trhu s PLC podíl 6 % [16]. Podíly jednotlivých společností na trhu s PLC můžeme vidět na obrázku č. 10.



Obr. 10: Trh s PLC 2017 [20]

Omron dělí svůj sortiment řídicí techniky na kategorie automaty PLC a jednotky pro řízení strojů. Sortiment PLC obsahuje spíše starší a jednodušší zařízení, vhodná především do samostatných menších jednoúčelových strojů, u kterých je kladen velký důraz na poměr cena/výkon. Jednotky jsou programované pomocí staršího softwaru CX-Programmer a často lze použít pouze programovací jazyk *Ladder* bez možnosti využít typy struktura a pole. PLC z této kategorie najdeme pod označením začínajícím na písmeno C.

Kategorie jednotek pro řízení strojů je poměrně mladou řadou výrobků, kterou poznáme podle označení začínajícího na písmeno N, a patří do platformy Sysmac. Název jednotky pro řízení strojů je odvozen od většího rozsahu kontrolních možností, než najdeme u základní řady PLC. Automaty jsou vybaveny komunikací Ethernet/IP, která slouží ke spojení s HMI, PC, nebo nadřazeným informačním systémem. Pomocí protokolu EtherCAT je potom možno řídit různé množství pohybových servomotorů, připojit vzdálené I/O (*Inputs/Outputs*), řídit kamerovou aplikaci nebo třeba Delta a SCARA roboty. V nabídce jsou automaty různého výkonu, kompaktní i větší jednotky. K programování slouží moderní software Sysmac Studio. Přehled obsahu platformy Sysmac je na obrázku č 11. [21]



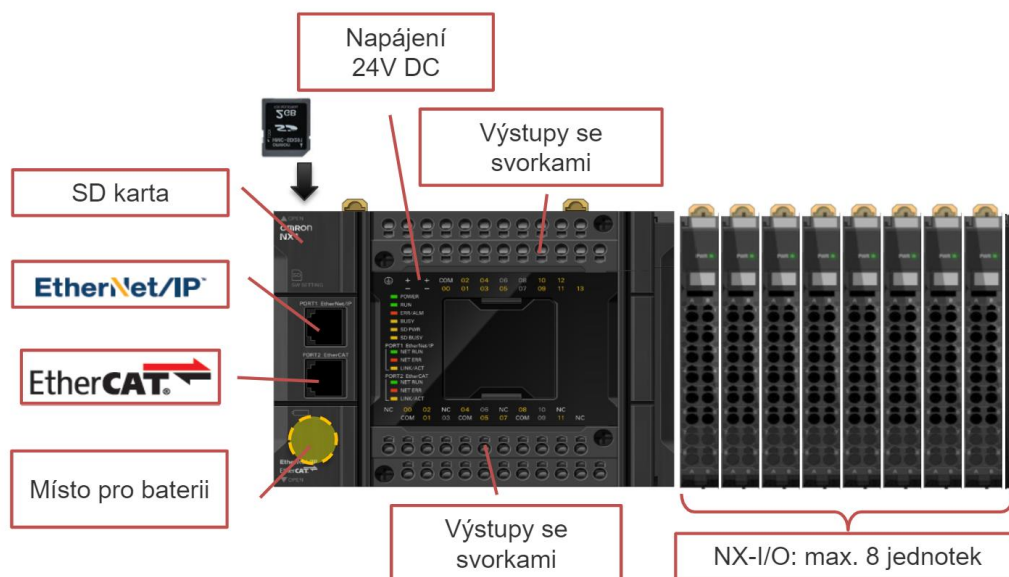
Obr. 11: Platforma Sysmac [21]

3.3 CPU NX1P2-9024DT1

Řada automatů NX1P2 patří k nižší výkonové kategorii nabízené v platformě Sysmac. Jedná se o kompaktní provedení řídicí jednotky, kterou bychom rozměrově mohli srovnat s PLC od konkurenčního výrobce Siemens řady S7 1200. [22]

Z hlediska výkonu už bychom však jednotku do nejnižší kategorie na trhu s PLC nezařadili. Výrobce uvádí nejkratší cyklový čas 2 ms, přičemž zpracování jedné instrukce zabere 3,3 až 70 ns. Pro řídicí program je k dispozici 1,5 MB, 2 MB pro nezálohované proměnné a 32 KB pro zálohované. Celkově se tedy jedná o až 95 tisíc proměnných, což je dostatečný počet i pro řízení větších aplikací. [22]

Z pohledu fyzické výbavy má jednotka rozměry 100x130x71 mm a je určeno pro montáž na DIN lištu. Na těle jednotky najdeme 24 I/O, jejichž počet lze rozšířit pomocí maximálně osmi přídatných karet. Ve výbavě jsou také dva RJ45 porty, z nichž jeden je pro rozhraní EtherCAT a druhý pro rozhraní EtherNet/IP. Do sítě EtherCat můžeme připojit celkově až 16 podřízených prvků, kterými mohou být vzdálené I/O jednotky, servopohony, které jdou řídit až 4, nebo vision systém. Účelem EtherNet/IP portu je připojení k PC, z kterého jednotku nastavujeme, komunikace s jinými jednotkami nebo HMI panely. Oproti automatům z vyšší řady NX1P2 postrádá možnost řízení robotů OMRON a v oblasti řízení pohonů má také omezené možnosti. Celkově se však v kategorii kompaktních PLC jedná o výkonnou jednotku, která je vhodná i k řízení větších strojů. Automat NX1P2 je na obrázku č. 12. [22] [21]



Obr. 12: NX1P2

3.4 Sysmac Studio IDE

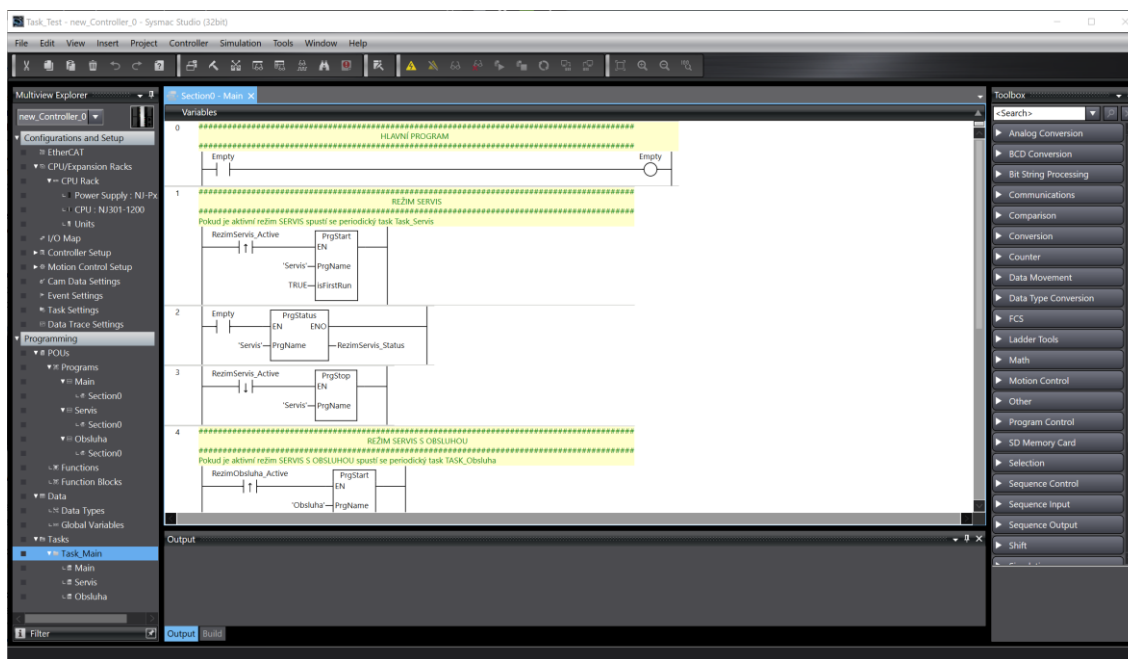
Sysmac Studio je vývojové prostředí sloužící nejen k programování řídicích jednotek z řad NJ/NX, ale také HMI panelů, servopohonů, robotů, programovatelných bezpečnostních jednotek a kamerových systémů. Jeho koncepcí bychom ho mohli srovnat s prostředím od konkurenční společnosti Siemens TIA Portal. Jedná se o placený software a podobně jako u jiných výrobců jsou nabízeny různé verze licencí. Kromě plné verze lze také zakoupit verzi Lite, která umožňuje programování pouze PLC řady NX1. Platba za licenci je jednorázová a obsahuje i budoucí aktualizace, není tedy třeba novější verze dokupovat. Rozložení prvků bychom mohli označit jako standardní. V horní liště se nachází hlavní nabídka, na levé straně potom strukturovaný projektový strom, na pravé straně nabídka programových instrukcí a v dolní části diagnostické okno. Barvy prostředí jsou jednoduché, takže nic nepůsobí rušivě. Příklad vzhledu Sysmac studia je na obrázku č. 13.

Pro tvorbu programu můžeme zvolit ze dvou programovacích jazyků z normy IEC 61131-3 a to *Ladder* a *Strukturovaného textu*. Jsou nám nabízeny tři základní POU (*Program Organization Unit*) a to program, funkce a funkční blok. Samotný program lze rozčlenit pro lepší organizaci na samostatné sekce. Zajímavou funkcí je možnost vložení kódu ve strukturovaném textu do programu psaného v *Ladder* nebo propracované funkce zvýraznění chyb syntaxe a nápovědy, které usnadňují práci. Pro práci s proměnnými jsou nabízeny základní datové typy včetně těch odvozených. Lepší konstrukce kódu je tedy umožněna přítomností struktur, polí, výčtového typu a union (Datový typ union nabízí možnost různého pohledu na jedno paměťové místo. Například k uloženému celočíselnému datovému typu, můžeme přistupovat také jako k poli bitů.). Pro všechny globální proměnné existuje jedna přehledová tabulka a hardwarové proměnné jsou

vytvářeny automaticky. Zaplnění paměti můžeme zkontrolovat v přehledové tabulce. Samozřejmostí jsou také nástroje pro nastavení sítě EtherCAT a sítě EtherNet/IP. V síti EtherCAT plní automaty funkci master zařízení.

Studio nabízí nástroje k tvorbě vizualizací pro HMI terminály z řady NA. Vývoj kompletní aplikace v jednom prostředí usnadňuje práci s napojováním proměnných pomocí pokročilých nástrojů a automatického spárování. Zajímavou funkcí je možnost přetažení proměnné z editoru řídicího programu přímo na obrazovku čímž se vytvoří tlačítko nebo signalizační pole. Samozřejmostí jsou předdefinované obrazovky včetně vyskakovacích oken pro uživatelské zadávání jako jsou klávesnice. Tyto prvky je možné upravovat podle potřeby aplikace, ať už se jedná o změnu rozměrů nebo jazyka. Součástí výbavy jsou i nástroje pro správu alarmů. Ty je možné vytvořit v samostatném souboru aplikace excel a poté je do prostředí importovat. Kvalitu vizualizace také zvyšují rozsáhlé možnosti tvorby grafů. Pro snížení času potřebného ke kompletnímu vývoji průmyslové aplikace studio nabízí možnost tvorby vizualizace v samostatném souboru a jeho pozdější import do hlavního programu.

Celkově můžeme říct, že vývojové prostředí Sysmac Studio nabízí balíček pro kompletní vývoj automatizovaných pracovišť. Jako nedostatek bychom mohli označit absenci rozšíření normy IEC 61131-3 obsahující objektově orientované programování. [23] [22]



Obr. 13: Sysmac Studio

4 ŘÍDICÍ PROSTŘEDKY SPOLEČNOSTI FANUC

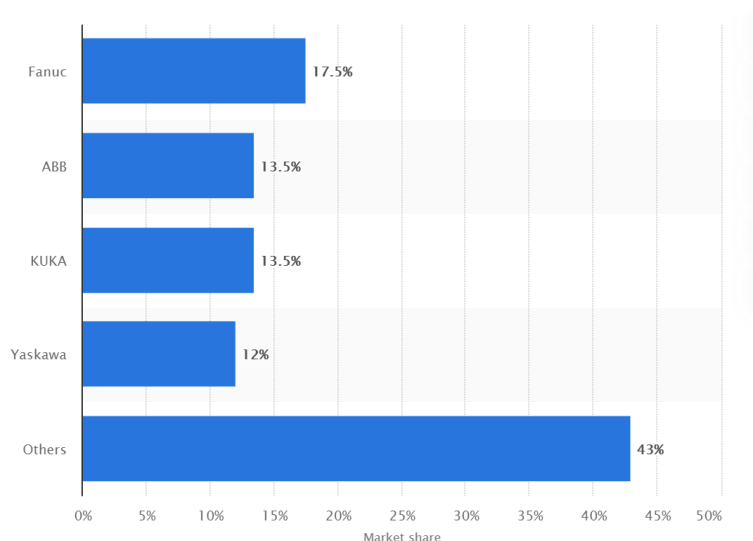
Tématem následující kapitoly jsou řídicí a automatizační prostředky společnosti Fanuc. V úvodu je představena historie společnosti a oblasti, kterým se Fanuc věnuje. Další podkapitola popisuje produkty, které v těchto oblastech společnost nabízí se zaměřením na kategorii průmyslových robotů. Následuje detailní představení konkrétního modelu robotu M-10iD/12. Kapitola je zakončena popisem software Roboguide, který slouží k tvorbě simulací pro roboty vyráběné společností Fanuc.

4.1 Historie společnosti Fanuc

FANUC je japonská společnost sídlící ve městě Oshino pod horou Fuji. Společnost vznikla nejprve jako divize firmy Fujitsu v roce 1955. Jejím zakladatelem byl Dr. Eng. Seiueemon Inabada. Úkolem divize bylo vytvořit číslíkový řídicí systém pro kontrolu obráběcích zařízení pomocí magnetických pásek a děrovaných štítků. V roce 1972 se společnost osamostatnila jako Fanuc Ltd. Název je akronymem pro Fuji Automatic NUmberical Control. Po osamostatnění se společnost začala věnovat vývoji a výrobě CNC (*Computer Numeric Control*) řízení, CNC strojů a do roku 1982 ovládla polovinu světového trhu.

Vývoj robotů začal v roce 1974 a v roce 1977 jejich vývoz do jiných států. V roce 1983 byl nainstalován první průmyslový robot v Evropě. Od té chvíle následoval dynamický rozvoj společnosti, která má nyní své pobočky po celém světě. V České republice má Fanuc zastoupení od roku 2004.

V současné době společnost zaměstnává asi 7000 lidí, má po celém světě nainstalováno více než 24,5 miliónů zařízení a je největším výrobcem průmyslových robotů s podílem 17,5 % světového trhu [24]. Rozdělení podílů světových výrobců průmyslových robotů je na obrázku č. 14. [14]



Obr. 14: Trh průmyslovými roboty [24]

4.2 Sortiment společnosti Fanuc

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, společnost se věnuje třem hlavním oblastem. Tato odvětví jsou CNC řídicí systémy, CNC stroje a průmyslové roboty. Všechny oblasti sdílejí stejnou řídicí platformu, což usnadňuje vzájemnou integraci strojů a umožňuje implementaci vývoje na všechny produkty současně. Důležitou vlastností každého výrobku je jeho kvalita, kterou se Fanuc snaží dodržet tím, že vyrábí veškeré komponenty ve vlastních továrnách v Japonsku. [14]

CNC řídicí systémy

V oblasti CNC řídicích systémů je Fanuc světovým lídrem. Jsou nabízeny univerzální produkty pro výrobce obráběcích center nebo laserových řezaček. Zboží v této kategorii bychom mohli rozdělit takto: [14]

- CNC řízení.
- Laserové systémy.
- Pohony a motory.

CNC stroje

Kromě samostatných řídicích systémů má Fanuc v nabídce i kompletní řešení pro výrobu. Tyto stroje se chlubí špičkovými parametry a patří k nejvýkonnějším ve své třídě. Zřízení jsou také připravena na snadnou spolupráci s roboty. Jedná se o: [14]

- Laserové řezačky.
- Robodrill – CNC frézky.
- Roboshot – elektronické vstřikovací lisy.
- Robocut – elektroerozivní drátové řezačky.
- Robonano – mimořádně přesné obráběcí stroje.

Průmyslové roboty

Jako největší světový výrobce nabízí společnost Fanuc široké spektrum průmyslových robotů. Jedná se celkem o více než 100 modelů. V nabídce jsou roboty pro různé oblasti a různé konstrukce.

V kategorii šestiosých robotů je sortiment nejširší. Mnoho modelů má universální použití, ale výrobce je rozčlenil na podkategorie podle oblasti určení, ve které vynikají. Označení kloubové roboty nesou zařízení pro různorodou manipulaci, příklady z této kategorie můžou být kompaktní roboty z řady LR mate nebo silné roboty z řady M-2000 s nosností až 2,3 tuny. Samostatnou kategorií jsou roboty pro obloukové svařování. Ty se vyznačují často dutým zápěstím pro snadné vedení energií nebo prodlouženým ramenem pro větší dosah. Stejně tak výrobce nabízí speciální roboty pro lakovací aplikace s hliníkovou konstrukcí, modely pro vrchní montáž nebo roboty paletizační. Samozřejmostí jsou také kolaborativní roboty, jejichž charakteristickou vlastností je

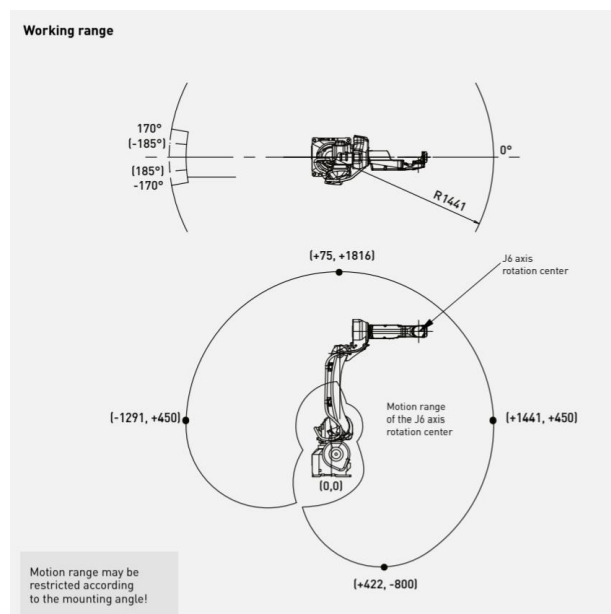
zelená barva. Roboty se často podobají modelům z normální řady, avšak uvnitř jsou vybaveny citlivými bezpečnostními snímači, díky kterým můžou pracovat v otevřeném prostředí. V nabídce jiných konstrukcí jsou roboty Delta a SCARA. SCARA roboty mají vyšší přesnost a rychlost na malém prostoru, Fanuc nabízí modely typu SCARA s užitečným zatížením 3 až 20 kg. Ideální pro vysokorychlostní manipulace s malými díly jsou pak roboty s paralelní kinematikou typu Delta, tuto oblast pokrývá výrobce nabídkou robotů s 3 až 6 osami a nosností až 12 kg. [14]

4.3 Robot Mate M-10 iD/12

Robot z nové řady společnosti Fanuc s označením M-10iD/12 je šestiosý robot střední velikosti zobrazený na obrázku č. 15. Jeho použití je univerzální a je umožněna i montáž vzhůru nohama. Díky štíhlé a lehké konstrukci dosahuje nejvyšší rychlosti os v dané kategorii výrobce a je ideální pro práci v úzkém prostoru. Robot má dosah 1441 mm, nosnost 12 kg a opakovatelnou přesnost 0,02 mm. Výhodou je zakřivené rameno na druhé ose, což právě usnadňuje pohyb na malém prostoru. Charakteristickým prvkem je duté rameno a zápěstí s průměrem vnitřního otvoru 57 mm pro vedení energií k namontovanému nástroji. Robot je dodáván s řídicí jednotkou R30iB Plus a ovladačem iPendant Touch. Pracovní rozsah robotu můžeme vidět na obrázku č. 16. Rychlosti jednotlivých os zařízení jsou uvedeny v tabulce č. 1. [14]



Obr. 15: Průmyslový šestiosý robot Mate M-10iD/12 [14]



Obr. 16: Pracovní rozsah robotu Mate M-10Id/12 [14]

Tab. 1: Rychlosti os robotu Mate M-10iD/12 [14]

Maximum speed (°/s)					
J1	J2	J3	J4	J5	J6
260	240	260	430	450	720

4.4 Roboguide

Roboguide je simulační software pro vytváření programů pro roboty Fanuc. Tento nástroj umožňuje program pro robotickou aplikaci připravit předem, čímž výrazně snižuje čas potřebný k realizaci pracoviště.

Vývojové prostředí je jednoduché a snaží se přiblížit programování reálného robotu například tím, že máme k dispozici virtuální model teachpendantu. Navigace v prostředí je intuitivní, uprostřed obrazovky máme vytvářené pracoviště, vlevo projektový strom a v horní liště dodatečné nástroje pro práci se souborem.

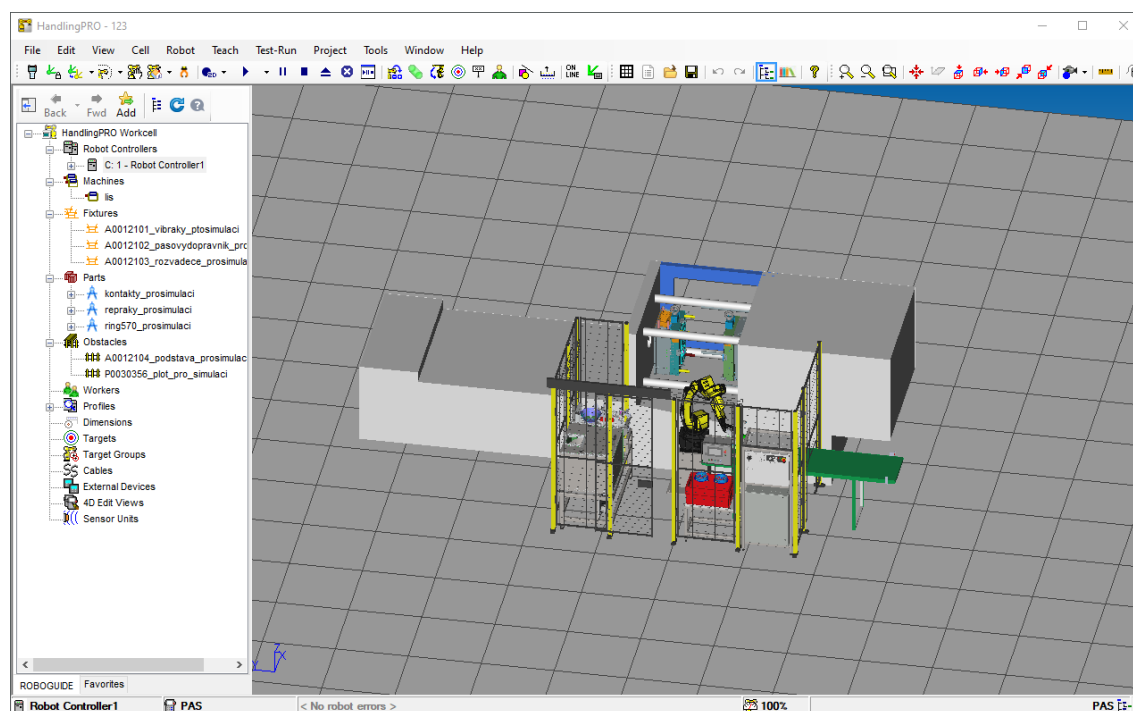
Software umožňuje tvorbu řídicích programů pro simulaci pohybu a aplikačních příkazů, tyto programy je poté možné nahrát do skutečného robotu. Kromě základních programů je možná i tvorba programů simulačních. Ty slouží zejména k vizualizaci například uchopování výrobků.

Jádrum programu je základní funkce HandlingPRO, která nabízí veškeré nástroje pro tvorbu manipulačních aplikací. Pro specifické úlohy jako například paletizaci, lakování nebo odstraňování ořepů je nutné si zakoupit dodatečná rozšíření.

Pro stavbu virtuálního pracoviště můžeme využít rozsáhlou knihovnu 3D dílů, nebo si nainportovat vlastní data ve specifickém formátu (iges). Využití nativní knihovny je vhodné v případech, ve kterých ověřujeme dosažitelný čas cyklu ve fázi nabídky pracoviště. 3D modelům můžeme dodatečně upravovat rozměry. Vložené objekty jsou

rozděleny do kategorií a jejich vlastnosti pak můžeme parametrizovat. Jedná se například o kategorii výrobní zařízení, podavač, chapadlo, fixtura nebo výrobek. Užitečnou funkcí je možnost nastavení bezpečnostního systému Dual check safety. Nastavení této funkce je ve virtuálním prostředí přehlednější a jeho provedení snazší oproti nastavování na ovladači fyzického robotu, zejména kvůli možnosti zobrazení jednotlivých oblastí, což usnadňuje kontrolu jejich polohy vůči rozestavení zařízení v buňce.

Na vytvořeném virtuálním pracovišti je poté možno chod robotů a zařízení simulovat a získat tak reálné cyklové časy i diagnostická data jako například předpokládanou životnost dílů robotu nebo namáhání kabeláže. Ze simulace je možno vytvořit záznam v podobě 2D nebo 3D videa. Příklad vzhledu prostředí je na obrázku č. 17. [14]



Obr. 17: Prostředí Roboguide

5 NÁVRH ROBOTICKÉ BUNKY

Kapitola se zabývá konstrukcí robotické buňky pro spolupráci robotu se vstřikovacím lisem. V úvodu je popsán princip funkce pracoviště a požadavky, které byly na stroj kladeny. Následuje popis mechanického rozestavení objektu v buňce a detailní charakteristika jednotlivých prvků. V závěrečné podkapitole je představen pneumatický okruh a integrace řídicího systému buňky.

5.1 Robotická buňka

Robotická buňka byla navržena ve spolupráci s firmou TRYSTOM a je zobrazena na obrázku č. 18. Účelem buňky je obsluha vstřikovacího lisu. K výkonu manipulace byl vybrán model robotu M-10iD/12 od společnosti Fanuc a pro řízení celého pracoviště zvolen automat NX1P2 od společnosti Omron. Součástí pracoviště jsou také zařízení sloužící k přípravě dílů pro robot a k dopravě hotových výrobků.



Obr. 18: Robotická buňka

5.2 Zadání robotické buňky

Zadání robotické buňky se skládá z popisu funkce, požadavků na zařízení a parametrů uvedených v tabulce č. 2. Jednotlivé informace o požadavcích:

- Automatická příprava zálisků.
- Založení zálisků pomocí robotu do formy.
- Vyjmutí kusů pomocí robotu z formy a umístění na pás.
- Pokrytí celého spektra produktů.

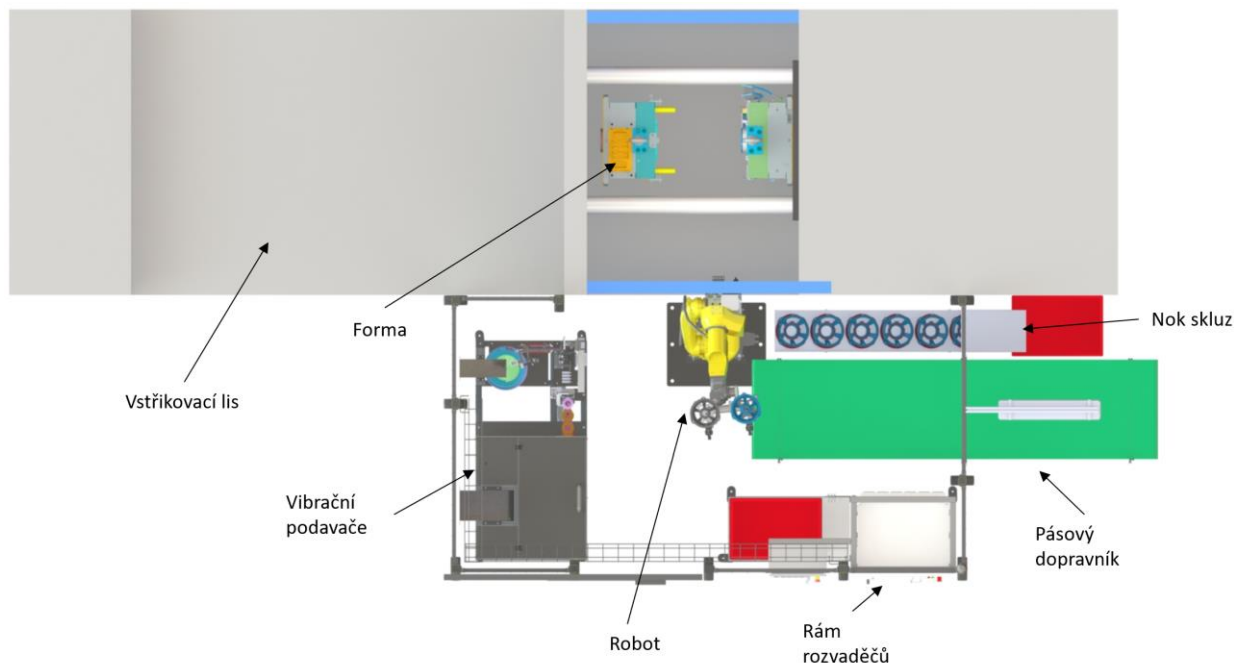
Tab. 2: Zadání robotické buňky

	Zálisek 1	Zálisek 2	Čas vstřikování	Čas robotické manipulace	Celkový čas cyklu
Výrobek 1	Kruhový zálisek 1	Plechové zálisky	45 s	12 s	57 s
Výrobek 2	Kruhový zálisek 2	Plechové zálisky	45 s	12 s	57 s
Výrobek 3	Kruhový zálisek 3	Plechové zálisky	45 s	12 s	57 s
Výrobek 4	Kruhový zálisek 4	Plechové zálisky	45 s	12 s	57 s

Jako řešení zadání bylo navrženo robotické pracoviště s následujícím popisem pracovního cyklu:

1. Robot uchopí připravené zálisky z automatizovaných podavačů a umístí je do otevřené formy ve vstřikovacím lise.
2. Lis vykoná vstřikovací cyklus a robot si mezitím přichystá další sadu zálisků.
3. Při následném otevření formy jsou nejdříve odebrány hotové výlisky a poté umístěny zálisky.
4. Hotové výrobky jsou podle rozhodnutí lisu umístěny v případě shodných kusů na dopravní pás nebo na gravitační skluz v případě kusů neshodných.

Zařízení a systémy využitě k uvedeným úkonům jsou popsány v následujících kapitolách.



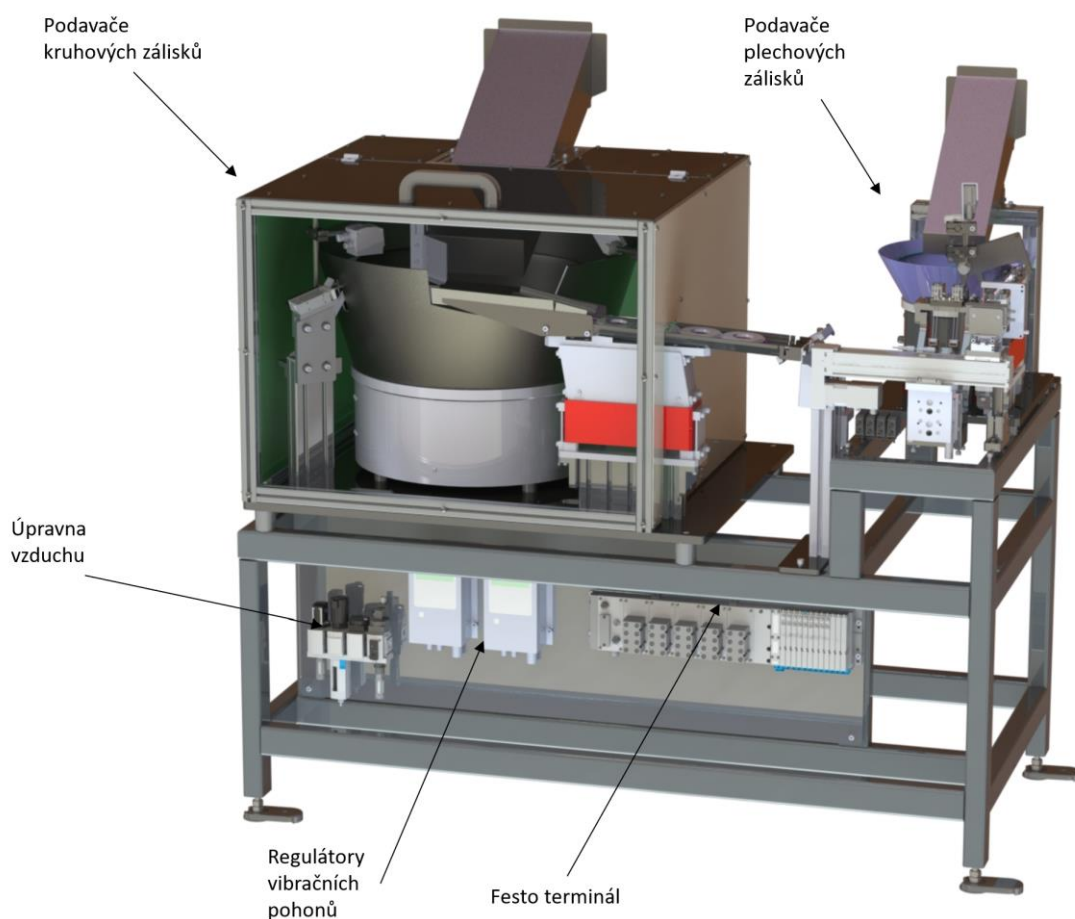
Obr. 19: Rozestavění robotické buňky

5.3 Zařízení robotické buňky

Zařízení v robotické buňce bychom mohli rozdělit podle rozestavění a podle účelu daného technologického uzlu. Jednotlivé sestavy můžeme nazvat jako: sestava vibračních podavačů, rám rozvaděčů, sestava robotu, pásový dopravník a nok skluz, vstřikovací lis. Vzájemné uspořádání zřízení na pracovišti je znázorněno na obrázku č. 19.

5.3.1 Sestava vibračních podavačů

Sestava vibračních podavačů slouží k přípravě dílů pro robot. Druhy dílů jsou dva, a proto můžeme sestavu rozdělit na dvě oblasti, a to podavače kruhových zálisků a podavače plechových zálisků. Součástí rámu je deska s regulátory pro řízení vibračních pohonů, úpravnou stlačeného vzduchu a ventilovým terminálem se vzdálenými I/O. Umístění jednotlivých prvků na ocelovém rámu můžeme vidět na obrázku č. 20.

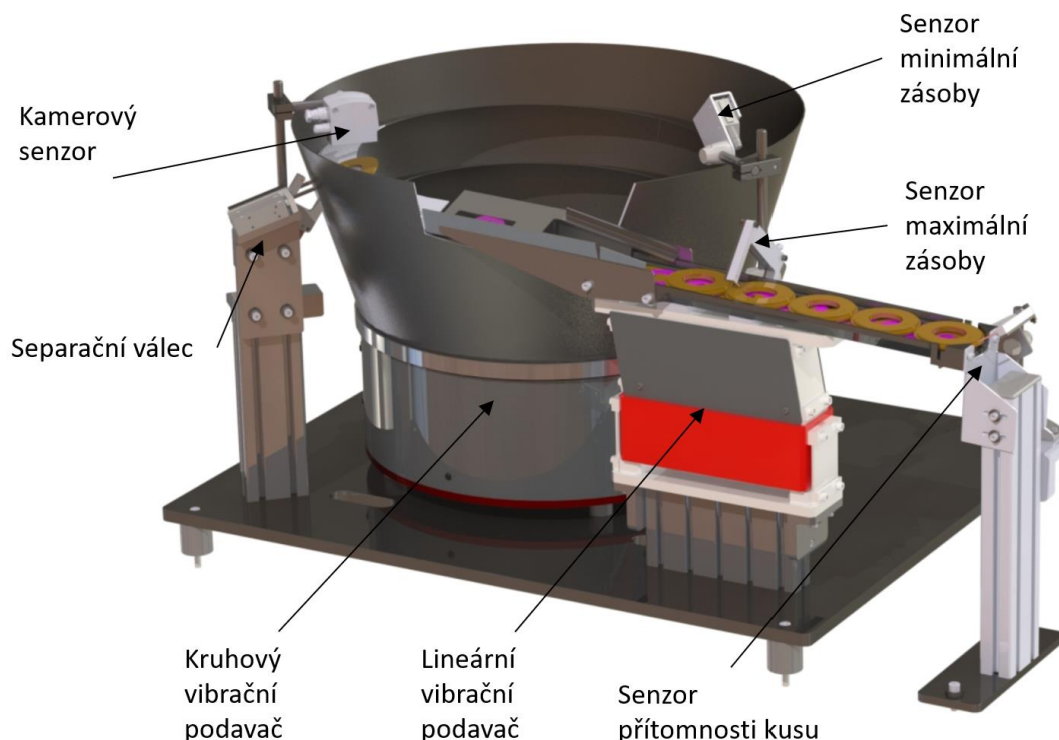


Obr. 20: Sestava vibračních podavačů

Podavače kruhových zálisků

K dopravě kruhových dílů slouží primárně vibrační podavače značky Effet. První v řadě je podavač kruhový z řady 480, na kterém je prováděna orientace dílů pomocí kamerového senzoru IFM O2D222 a pneumatického separačního válce. Násypka je opatřena polyuretanovým povrchem pro zlepšení podávací schopnosti a kvůli nižší

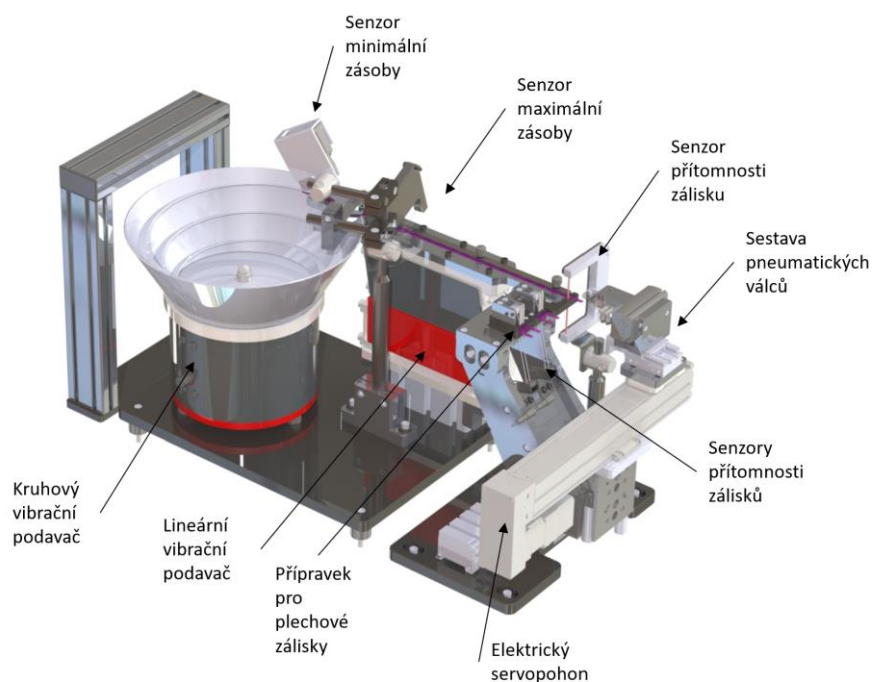
hlučnosti. Kruhový zálisek je poté dopraven na lineární podavač z výkonové řady 580, kde se zastaví o koncový doraz a je snímán optickým senzorem přítomnosti. Sestava také obsahuje senzor maximální zásoby na lineární liště pro řízení chodu kruhového podavače a senzor minimální zásoby v kruhovém podavači pro signalizaci pohybu. Téměř celá sestava je umístěna v protihlukovém krytu. Zařízení bez protihlukového krytu jsou na obrázku č. 21.



Obr. 21: Sestava podavačů kruhových zálisků

Podavače plechových zálisků

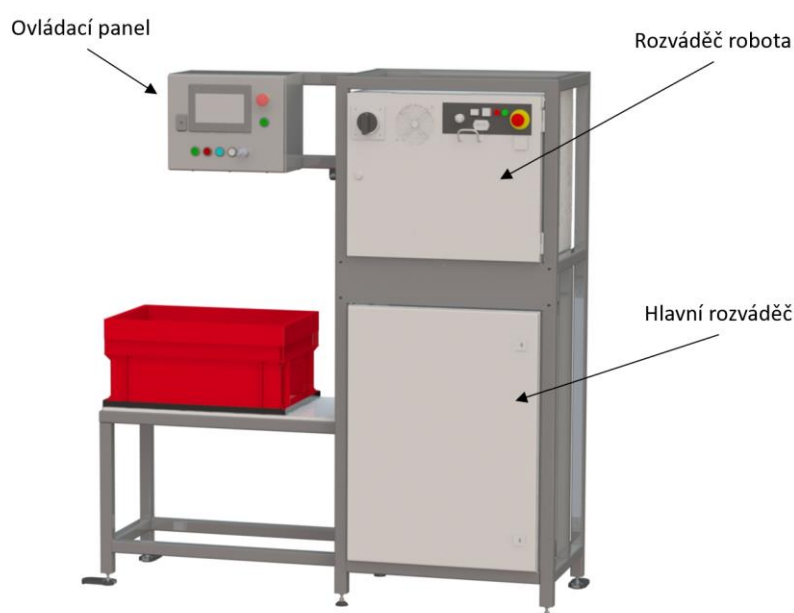
Zásoba plechových zálisků se nachází v násypce kruhového podavače výkonové řady 180. Odsud jsou zálisky dopravovány lineárním vibračním pohonem z řady 380 až na konec lineární lišty, kde se zastaví o koncový doraz. Díl přítomný na konci lišty je snímán senzorem přítomnosti a je odebírán pomocí soustavy pneumatických válců a lineárního servopohonu. Soustava válců orientuje a přemísťuje zálisky do přípravku, ze kterého jsou odebírány robotickým chapadlem. Sestava podavačů plechových zálisků je na obrázku č. 22.



Obr. 22: Sestava podavačů plechových zálisků

5.3.2 Rám rozvaděčů

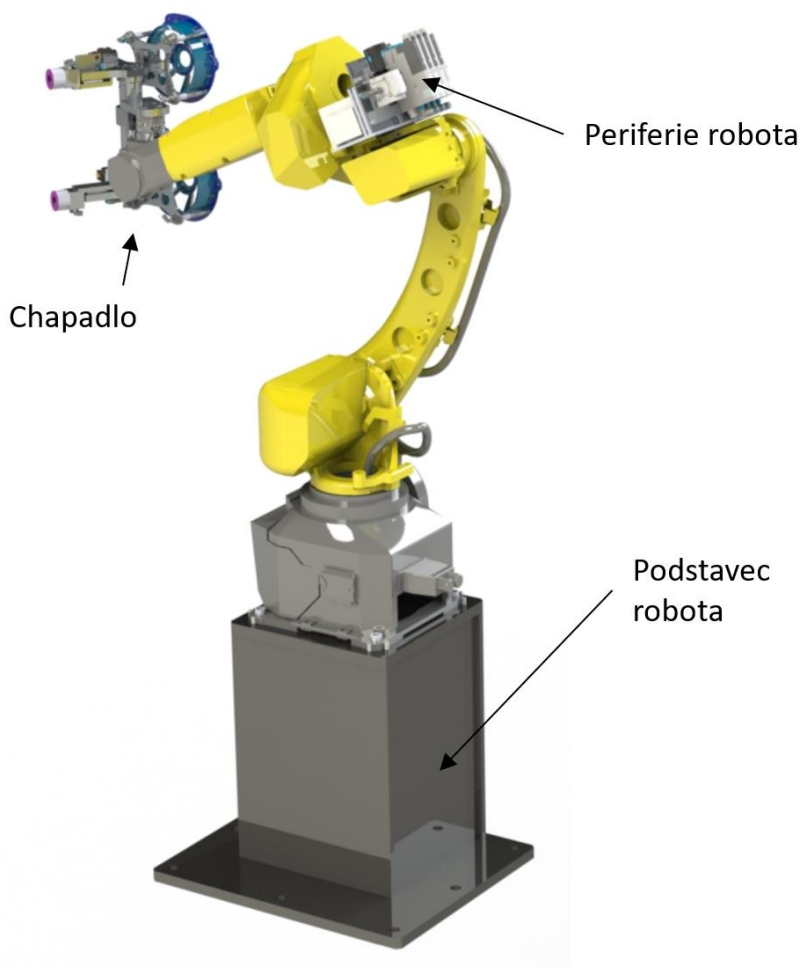
Na rámu jsou umístěny veškeré rozvaděče potřebné pro řízení robotické buňky. Základem je hlavní rozvaděčová skříň s automatem NX1P2 a veškerou elektrickou výbavou včetně bezpečnostních relé a hlavního vypínače. Nad hlavním rozvaděčem je kontrolér robotu R30iB Plus. Na levé straně je řídicí panel, který obsahuje 7palcové HMI Omron z řady NB a ovládací tlačítka. Na zadní straně jsou umístěny 3 indukční senzory, využívané pro kontrolu správnosti nasazeného chapadla. Rám rozvaděčů a zmíněné prvky jsou na obrázku č. 23.



Obr. 23: Rám rozvaděčů

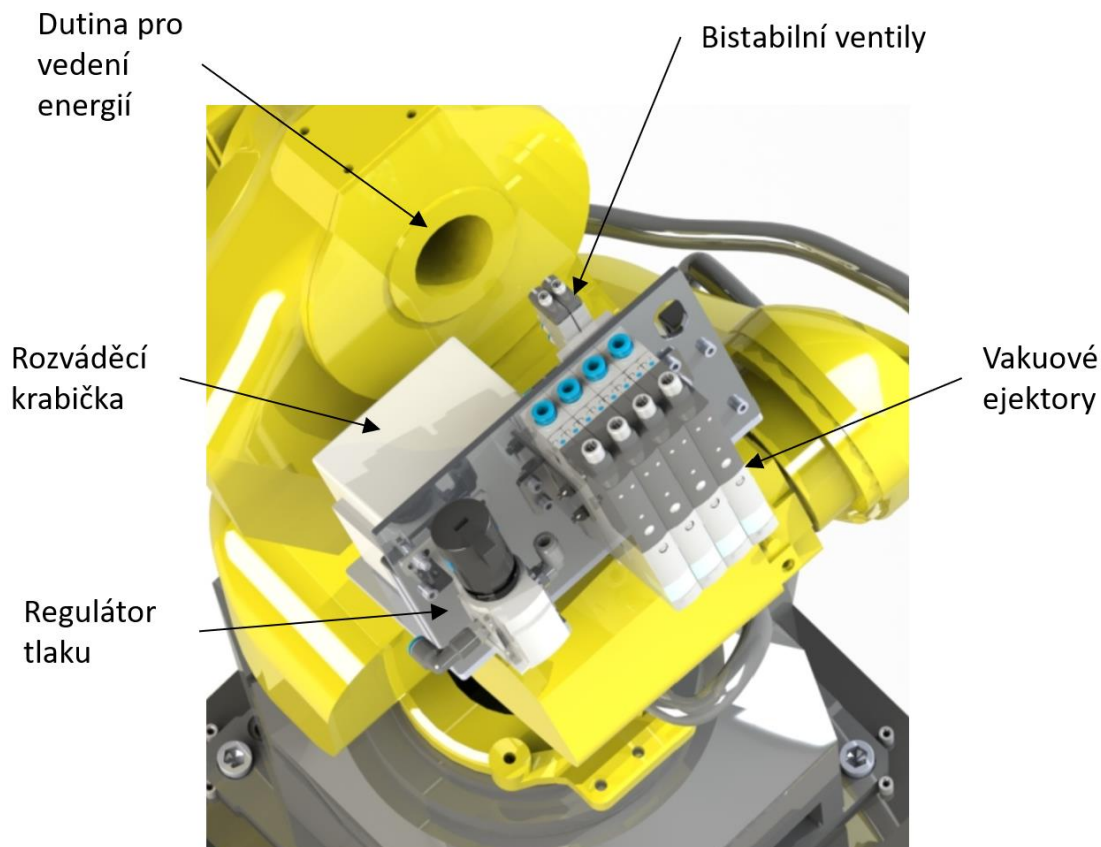
5.3.3 Sestava robotu

Uprostřed pracoviště se nachází robot umístěný na svařovaném ocelovém podstavci. Na jeho 3. ose je přichycena sestava periferních zařízení, která slouží k ovládání pneumatických zařízení na robotickém chapadle.



Obr. 24: Sestava robotu

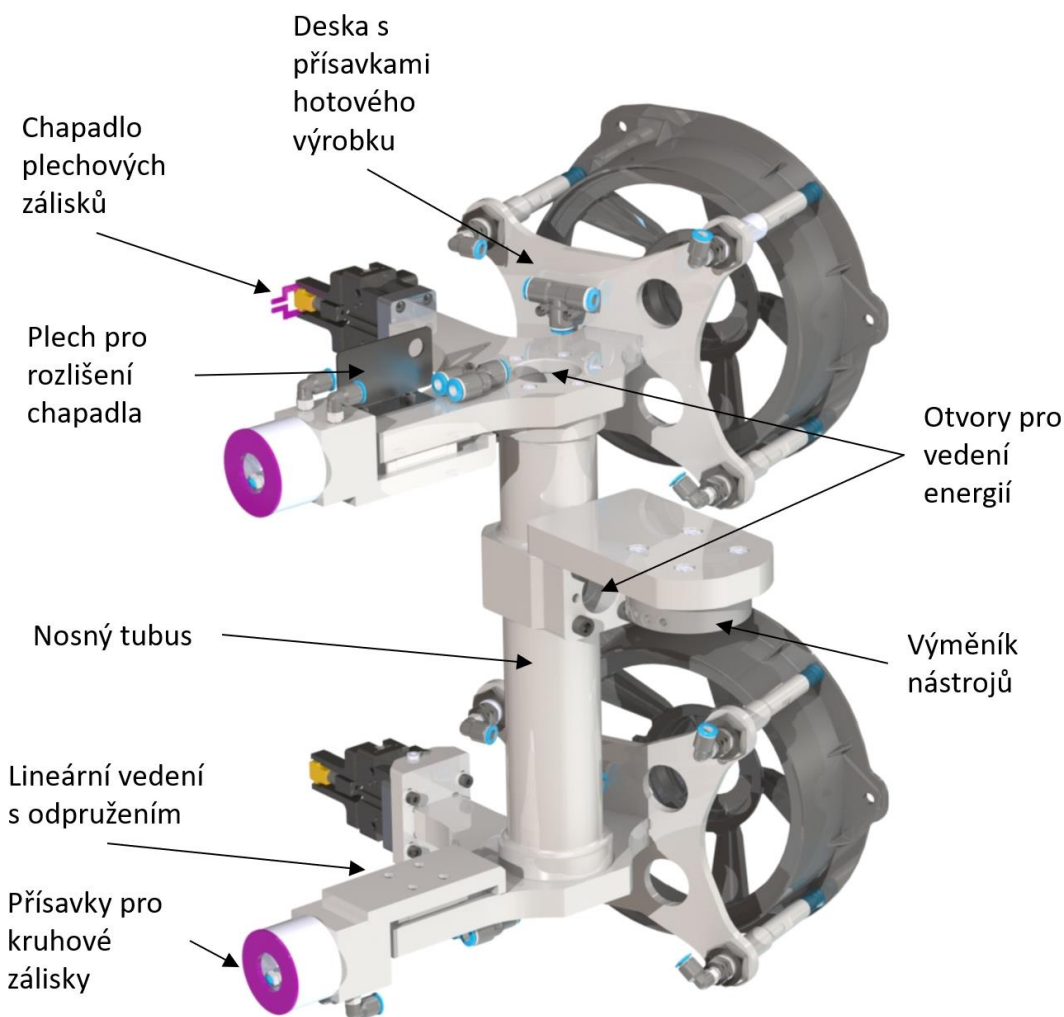
Součástí těchto periférií je pneumatický regulátor, který snižuje tlak vzduchu pro maximální funkci 4 vakuových ejektorů. Vakuové ejektory slouží k vytváření podtlaku v přísavkách, které uchopují kruhové zálisky a hotové výrobky z formy lisu. Najdeme zde i malou pneumatickou distribuční desku, na kterou jsou připojeny 4 bistabilní ventily, které ovládají chapadla pro uchopení plechových zálisků. Vedle ventilů je izolovaná krabice, do které jsou zapojeny veškeré zmíněné periferie včetně čidel namontovaných na chapadle robotu. Veškeré signály jsou poté distribuovány pomocí koncového konektoru robotu, který je spojený s rozváděcí krabičkou. Celá sestava robotu je na obrázku č. 24. Detailní pohled na periférie robotu je na obrázku č. 25.



Obr. 25: Periferie robotu

Chapadlo

Na poslední ose je namontováno vždy jedno ze čtyř výměnných chapadel. Forma vstřikovacího lisu je konstruována na výrobu dvou výlisků v jednom cyklu a tomu jsou přizpůsobena i chapadla robotu. Chapadlo je tvořeno středovým tubusem, na jehož koncích jsou umístěny desky s třemi rameny. Na každém rameni se nachází akční člen. První jsou přísavky s naváděcím kroužkem na odpruženém držáku pro uchopení kruhových zálisků. V prostřední poloze je chapadlo Zimmer, kterým jsou uchopovány a zakládány dva zrcadlově orientované plechové zálisky. Na posledním konci desky je umístěna soustava odpružených přísavek, která uchopuje hotový výlisek z formy. K nosnému tubusu je upevněn hliníkový díl, na kterém je umístěna výměnná část rychloupínače nástrojů Zimmer. Kromě nosné funkce slouží tento prvek také k připojení podtlakového nebo tlakového vedení vzduchu k zařízením na chapadle. Chapadlo včetně popisu jednotlivých částí je na obrázku č. 26.

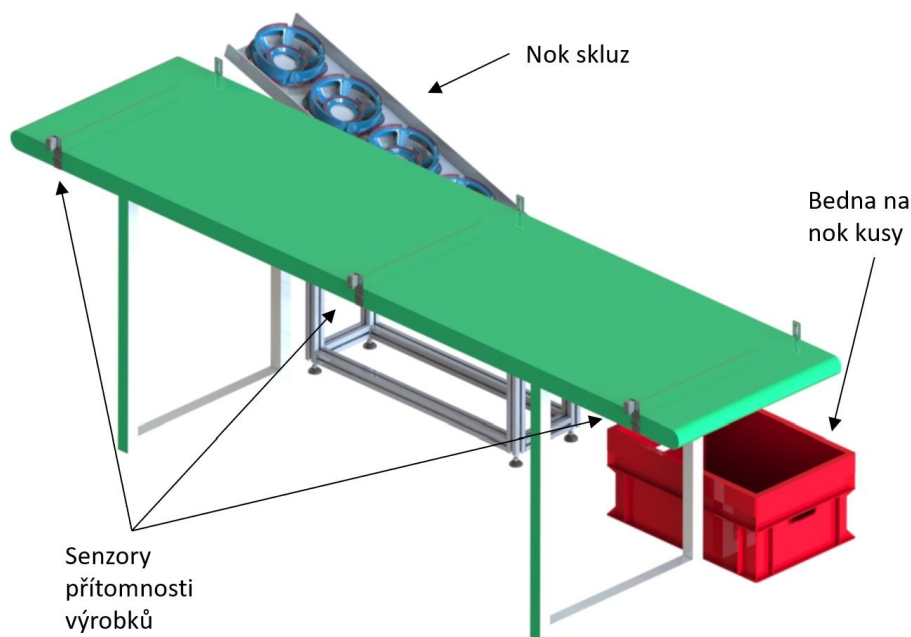


Obr. 26: Robotické chapadlo

5.3.4 Pásový dopravník a NOK skluz

Posledními prvky v procesu jsou pásový dopravník a skluz pro NOK kusy (neshodné kusy). Pásový dopravník slouží k vytváření a dopravě zásoby hotových kusů směrem k paletě. Na bočnicích dopravníku je umístěna soustava tří optických závor, sloužící k řízení procesu. První senzor snímá pozici, kde jsou kusy umísťovány na dopravník, druhý senzor signalizuje téměř plný dopravník a poslední senzor je umístěn na konci zařízení a slouží k jeho případnému zastavení pro zamezení pádu výrobků.

Na NOK skluz jsou umísťovány kusy, které jsou v procesu vyhodnoceny jako zmetkové. Může se jednat zpravidla o první kusy v sérii, nebo náhodnou chybou o jakékoliv kusy při následných výrobních cyklech. Ze skluzu vadné výlisky sjíždí do připravené bedny. Pásový dopravník a NOK skluz jsou na obrázku č. 27.



Obr. 27: Pásový dopravní a NOK skluz

5.3.5 Vstřikovací lis

Nedílnou součástí celého procesu robotické buňky je vstřikovací lis Leadway Blaze-II 3200. Zařízení je propojeno s řídicím systémem buňky pomocí elektrického rozhraní EUROMAP 67. Součástí rozhraní jsou signály pro komunikaci s řídicím systémem ohledně pozic formy v lise, povolení jejího pohybu nebo signály zapojené do bezpečnostního obvodu. Na konstrukci lisu je umístěn laserový odměřovací snímač Omron, který snímá přesnou polohu otevření formy a tento údaj odesílá do PLC. Jelikož se poloha otevření formy při každém cyklu může lišit o desetiny milimetru je tento údaj důležitý zejména při zakládání plechových zálisků do jádra, jehož otvory mají malou vůli. Vstřikovací lis je na obrázku č. 28.



Obr. 28: Vstřikovací lis Leadway Blaze-II 3200 [19]

5.4 Řídicí systém

Součástí řídicího systému buňky jsou kromě PLC a robotu také další k nim připojená zařízení. Tato zařízení jsou buď elektrická nebo elektropneumatická. Jedná se například o elektricky ovládané pneumatické ventily, jednotku vzdálených I/O, kamerový senzor nebo regulátor vibračních pohonů.

Kamerový senzor ifm O2D222

Na sestavě vibračních podavačů pro kruhové zálisky se nachází kamerový senzor, jehož účelem je vyhodnocování správné orientace podávaných dílů. Zařízení detekuje hrany snímaných objektů a na jejich základě vyhodnocuje správnost orientace. Senzor je řízený pomocí digitálních I/O a jeho nastavení je realizováno pomocí komunikačního rozhraní ethernet. Kamerový senzor je na obrázku č. 29. [24]



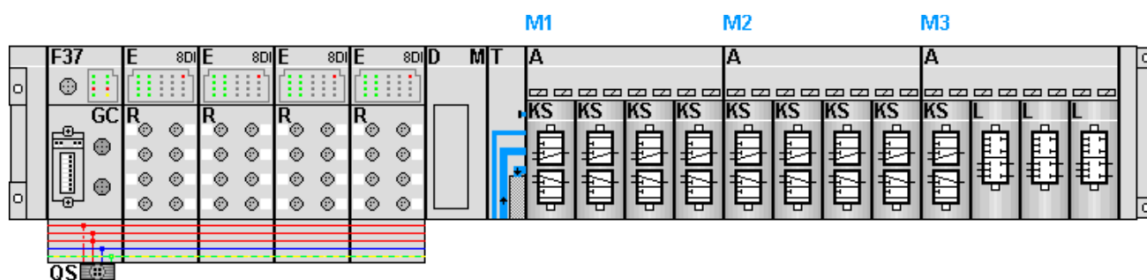
Obr. 29: Kamerový senzor ifm O2D222 [24]

Terminál Festo MPA-S CPX

Na sestavě vibračních podavačů se nachází elektropneumatický terminál Festo z řady MPA-S CPX. Zařízení slouží jako terminál pneumatických ventilů, které jsou využity k ovládání válců a trysek na vibračních podavačích, a zároveň jako vzdálené digitální vstupy a výstupy. Do systému je toto zařízení integrováno pomocí komunikačního rozhraní EtherCAT. Příklad terminálu Festo je na obrázku č. 30. Konfigurace zařízení použitá pro robotickou buňku je na obrázku č. 31.



Obr. 30: Festo terminál MPA-S CPX [21]



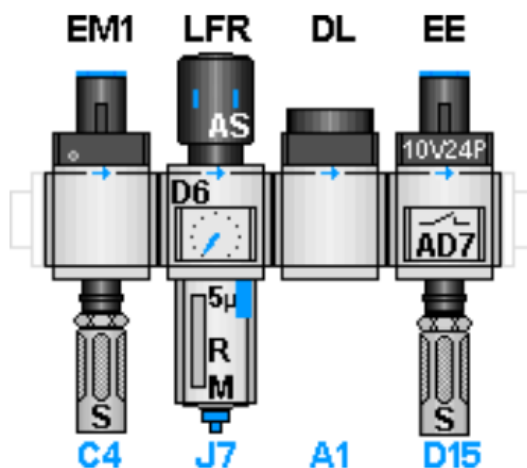
Obr. 31: Konfigurace terminálu Festo MPA-S CPX [21]

Úpravna vzduchu MSB4

Vstupním prvkem pneumatického obvodu je úpravna stlačeného vzduchu Festo z řady MSB4. Zařízení je složeno ze čtyř prvků zapojených v sérii. Prvním členem je ruční ventil s tlumičem hluku, následuje redukční ventil pro nastavení tlaku v obvodu. Dalším prvkem je ventil s pomalým náběhem tlaku a poslední je elektricky spínaný ventil se snímačem tlaku. Provozní tlak zařízení se může pohybovat v rozmezí 1,5 až 14 bar. Normální jmenovitý průtok výrobce uvádí 800 až 1400 l/min. Příklad úpravny vzduchu je na obrázku č. 32. Přesná konfigurace úpravny vzduchu pro robotickou buňku je znázorněna na obrázku č. 33. [21]



Obr. 32: Úpravna vzduchu MSB4 [21]



Obr. 33: Konfigurace úpravny vzduchu MSB4 [21]

Skipala DIGR-2200/D

K řízení pohonů vibračních podavačů je použit regulátor značky Skipala. Regulátor umožňuje frekvenci kmitů 100, 50 a 33 HZ. Tato jednotka je duální a dokáže tedy řídit dva vibrační pohony zároveň. Součástí výbavy jsou i digitální vstupy a výstupy, které lze využít k připojení zařízení jako jsou senzory a ventily, nebo k napojení na nadřazený řídicí systém. Regulátor DIGR-200/D je na obrázku č. 34.



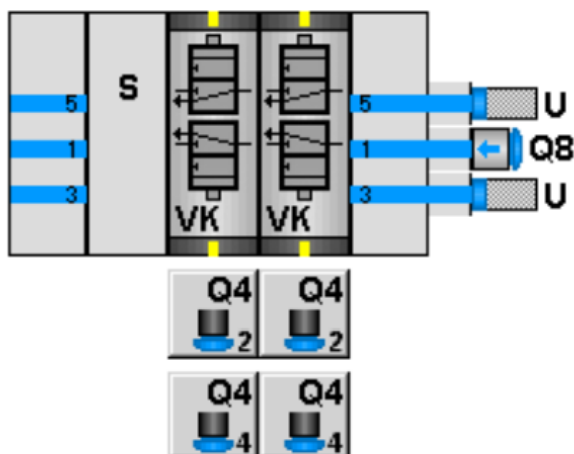
Obr. 34: Regulátor Skipala DIDR-2200/D [26]

Ventilový terminál Festo VTUG

Na třetí ose robotu je namontovaný malý ventilový terminál Festo z řady VTUG. Jedná se o připojovací desku z hliníkové slitiny, do které je přiveden stlačený vzduch. Na desku jsou připevněny 4 bistabilní ventily se samostatnými konektory. Ventily slouží k ovládání pneumatických chapadel Zimmer na chapadle robotu. Příklad terminálu VTUG je na obrázku č. 35. Konfigurace použitá na robotu je znázorněna na obrázku č. 36.



Obr. 35: Ventilový terminál VTUG [21]



Obr. 36: Konfigurace ventilového terminálu VTUG [21]

Vakuové ejektory Festo OVEM

Součástí výbavy připevněné na těle robotického ramene jsou čtyři vakuové ejektory Festo z řady OVEM. Tato zařízení slouží k vytváření podtlaku pro přísavky na chapadle robotu. K vytvoření podtlaku je využito Lavalovy trysky o velikosti 0,95 mm a součástí konstrukce ejektoru je elektricky spínaný pneumatický ventil, filtr nasávaného vzduchu, tlumič hluku a snímač vakua. Příklad Ejektoru je na obrázku č. 37. [21]



Obr. 37: Vakuový ejektor OVEM [21]

Ovládací panel

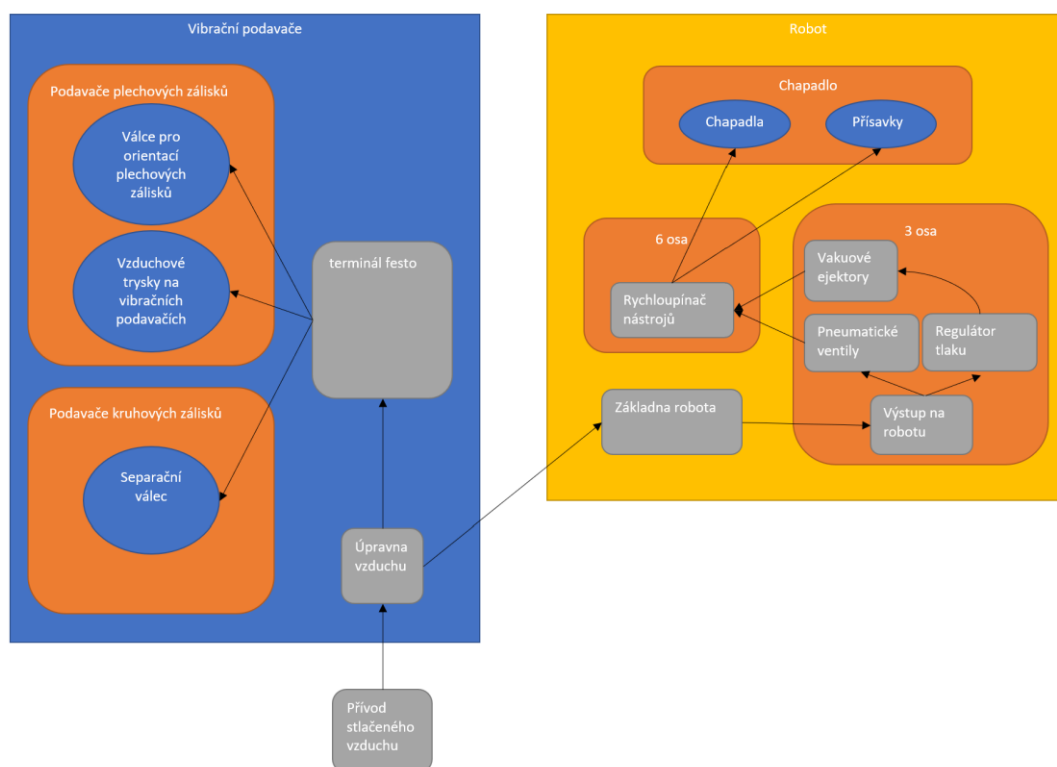
Nedílnou součástí pracoviště je ovládací panel, na kterém je umístěno HMI NB7W-TW01B od společnosti Omron. Jedná se o obrazovku o velikosti 7 palců s resistivním dotykovým displejem. Zařízení je připojeno do systému pomocí rozhraní EtherNet/IP. Součástí panelu jsou i tlačítka určená pro řízení chodu robotické buňky. Celý panel je na obrázku č. 38.



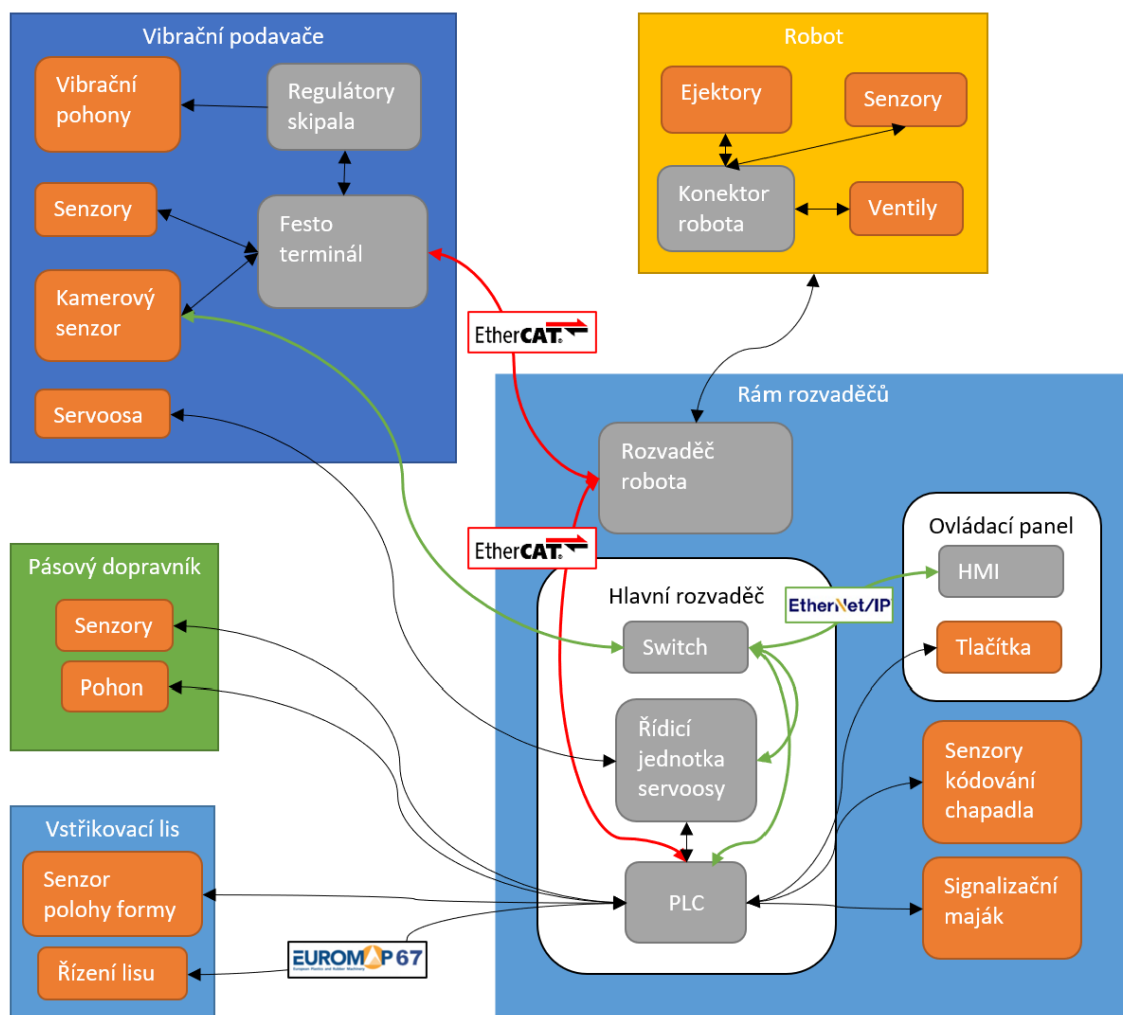
Obr. 38: Ovládací panel

5.5 Systémová integrace

Vzájemné zapojení zařízení popsaných v předešlých kapitolách je znázorněno na následujících schématech. První schéma popisuje propojení prvků v pneumatickém obvodu a je na obrázku č. 39. Druhé schéma na obrázku č. 40 zobrazuje propojení jednotlivých zařízení řídicího systému.



Obr. 39: Schéma zapojení pneumatického obvodu



Obr. 40: Systémová integrace

6 NÁVRH A IMPLEMENTACE ŘÍDICÍHO PROGRAMU PRO ROBOTICKOU BUŇKU

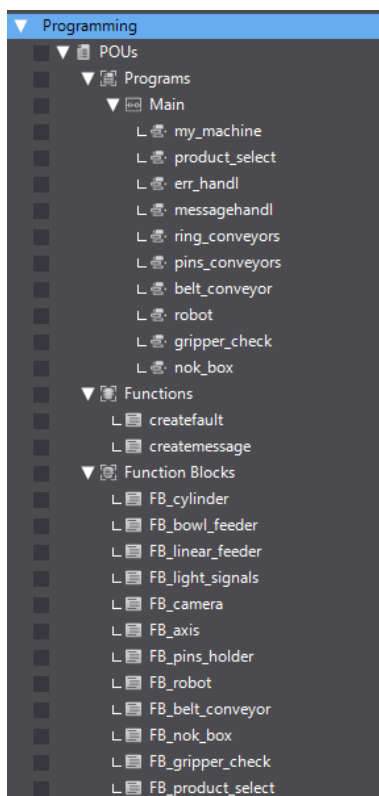
Následující kapitola se zabývá popisem návrhu a implementace řídicího programu pro robotickou buňku. Na začátku kapitoly je popsán program PLC včetně využitých nástrojů a hlavních algoritmů. Další podkapitola popisuje nastavení robotu, prvky využívané k logickému řízení a samotné řídicí programy. Dále je popsána tvorba vizualizace pro HMI panel. Navazuje část o simulaci navrženého řešení v prostředí Roboguide a ověření cyklových časů. V závěru je popsána skutečná robotická buňka, průběh implementace a konečné výsledky.

6.1 Řídicí prostředky

Hlavními programovatelnými řídicími prvky robotické buňky jsou PLC, robot, respektive jeho řídicí jednotka a HMI terminál. Řídicí programy těchto zařízení kontrolují chod celého automatizovaného pracoviště. Nejvyšší v hierarchické struktuře řídicích prvků je PLC, jehož program zpracovává instrukce nejvyšší úrovně a rozhoduje o činnosti podřízených prvků.

6.2 PLC

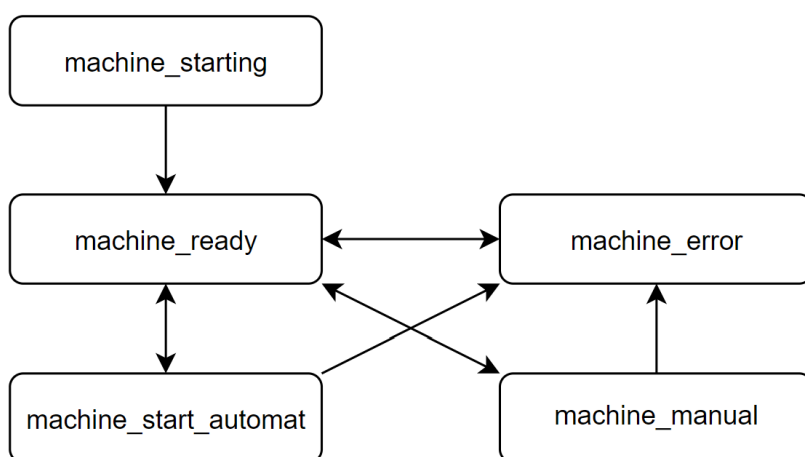
Projekt pro řídicí automat je vytvořen ve vývojovém prostředí Sysmac. Celý program je napsán v jazyce ST. K jeho tvorbě bylo využito všech nabízených POU (*Program Organization Unit*). Hlavní řídicí část je program *Main*, který je rozčleněn na samostatné sekce. Jednotlivé části *Main* programu jsou rozděleny podle hlavní funkce nebo podle zařízení, jehož činnost zpracovávají. Příkladem může být sekce *my_machine*, která řídí globální stavový automat nebo sekce *pins_conveyors*, která ovládá veškerá zařízení pro podávání plechových zálisků. Důležitou součástí programu je početná skupina funkčních bloků. Funkční bloky jsou využity k přímému řízení akčních členů buňky na nižší úrovni. Příkladem může být funkční blok *FB_cylinder*, který obsahuje univerzální logiku pro ovládání pneumatických válců. Instance tohoto bloku jsou vytvořeny v příslušných sekcích hlavního programu *Main*. Funkční blok *FB_robot* slouží k zpracování přijímaných a odesílaných signálů do robotu. Součástí tohoto úkonu je vykonání příslušné sekvence kroků potřebné k volbě a spuštění požadovaného programu. V projektu jsou také dvě funkce, které slouží k vytváření chybových hlášek a oznámení. Veškeré použité POU jsou zobrazeny na obrázku č. 41.



Obr. 41: Projektový strom programu PLC

6.2.1 Hlavní řídicí stavový automat

Hlavní programovací metodou využitou k tvorbě řídicího programu PLC je stavový automat. Tato metoda je aplikována v různých částech programu. Sekce *my_machine* obsahuje kód, který řídí stavový automat globální. Globální stavový automat se skládá celkem z 5 stavů, které jsou znázorněny na obrázku č. 42.



Obr. 42: Stavový automat

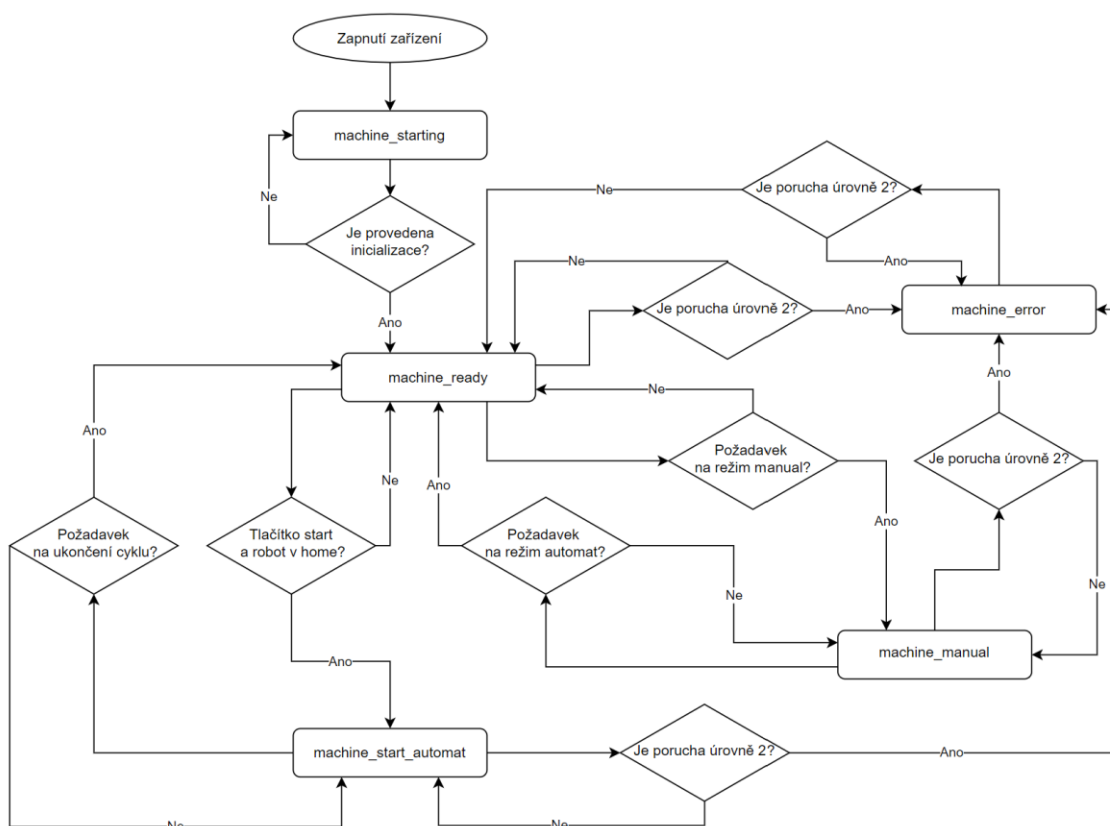
Samotný kód stavového automatu je strukturován pomocí přepínače *CASE* v kombinaci s výčtovým datovým typem *Enumerated (Enum)*. Tato kombinace zajišťuje

přehlednost a organizovanost kódu. Důvodem k využití *Enumerated Type* je možnost přiřazení vlastních názvů k jednotlivým číselným konstantám. Pro tyto účely byl vytvořen vlastní datový typ *Enumerated* s názvem *machine_datatype*. Názvy možných číselných hodnot jsou uvedeny na obrázku č. 43.

Structures	Name	Enum Value	Comment
Union	machine_datatype		
Enumerated	machine_starting	0	
	machine_ready	1	
	machine_start_automat	2	
	machine_manual	3	
	machine_error	4	
	axis_datatype		
	errors_enum		
	beltconveyor_enum		

Obr. 43: Enumerated machine_datatype

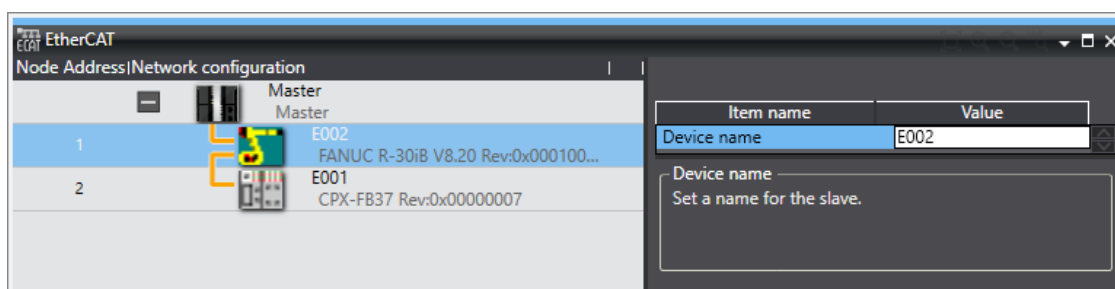
V každém z jednotlivých stavů jsou popsány podmínky přechodu do stavu jiného. Tyto podmínky jsou ve zjednodušené podobě zobrazeny na obrázku č. 44.



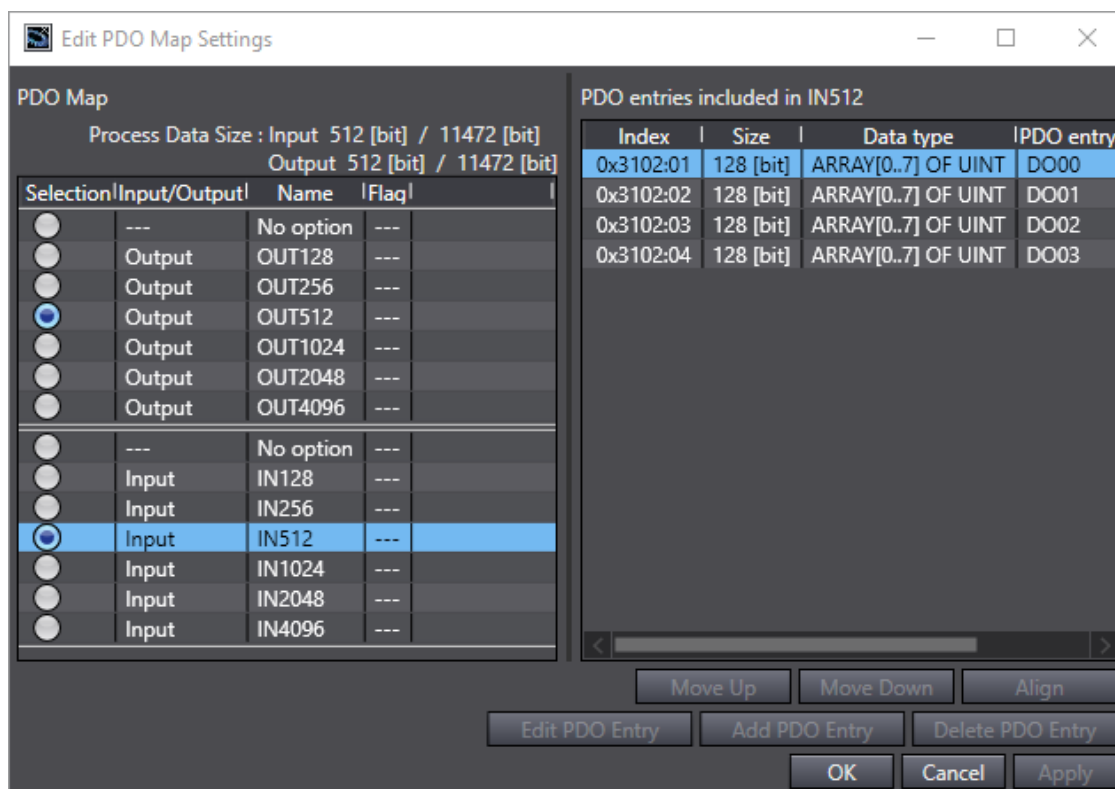
Obr. 44: Vývojový diagram stavového automatu

6.2.2 Průmyslová komunikace: Robot <> PLC

Průmyslová komunikace mezi programovatelným logickým automatem (PLC) a šestiosým průmyslovým robotem Fanuc je zajištěna pomocí sítě EtherCAT. Nastavení komunikace je provedeno pomocí konfiguračních nástrojů v prostředí Sysmac Studio. Topologie sítě EtherCAT je zobrazena na obrázku č. 45. Maximální možné množství přeposílaných bitů je 4096 pro výstupy a 4096 pro vstupy. Pro aplikaci bylo zvoleno 512 bitů pro vstupy a 512 bitů pro výstupy. Jednotlivé bity jsou uspořádány do 4 polí po 128 UINT (datový typ *Unsigned Integer*). Nástroj pro konfiguraci komunikačního paketu je na obrázku č. 46.



Obr. 45: Topologie sítě EtherCAT



Obr. 46: Konfigurace sítě EtherCAT

Pro přehlednost a snadnější práci jsou všechny tyto signály přiřazeny do dodatečně vytvořených polí bitů. Jedná se o pole ovládacích signálů robotu UI /UO (*user input, user output*) a pole DI/DO (*digital input, digital output*) pro uživatelsky

konfigurovatelné bity. Bity digitálních vstupů a výstupů jsou používány pro řízení cyklu robotu na různých místech programu. Toto přiřazení je zpracováno ve funkčním bloku *FB_robot*. *FB_robot* kromě přiřazení signálů zpracovává volbu a spuštění programu robotu nebo kontrolu jeho bezpečné pozice pro blokaci pohybu formy. Příklad kódu pro volbu programu je na obrázku č. 47.

```

1
2 // PULS PRO SPUŠTĚNÍ PROGRAMU ROBOTA
3 puls_pohybu(In:=start, PT:=T#200ms, Q=>UI6_START );
4
5 // VOLBA PROGRAMU ROBOTA
6 CASE prg_rqst OF
7
8   1: // MAIN
9
10    RSR1:=1;
11    RSR2:=0;
12    RSR3:=0;
13    RSR4:=0;
14
15
16   2: // HOME
17
18    RSR1:=0;
19    RSR2:=1;
20    RSR3:=0;
21    RSR4:=0;
22
23   3: // CHAPADLO CHECK
24
25    RSR1:=0;
26    RSR2:=0;
27    RSR3:=1;
28    RSR4:=0;
29
30   4: // REZERVA
31
32    RSR1:=0;
33    RSR2:=0;
34    RSR3:=0;
35    RSR4:=1;
36
37 END_CASE;
38

```

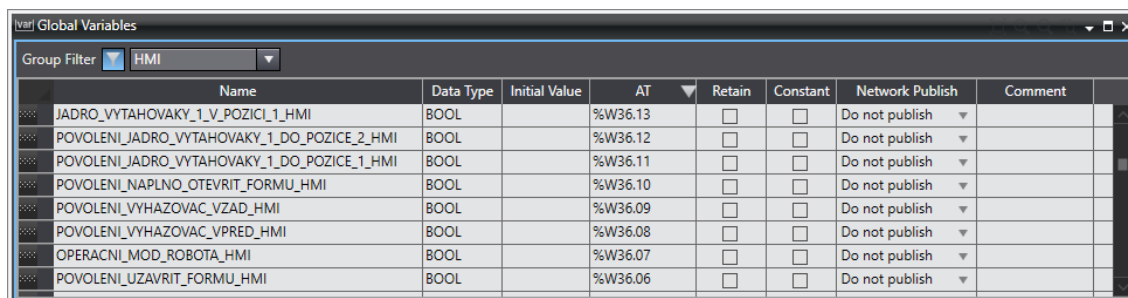
Obr. 47: Volba a spuštění programu robotu

FB_robot je volán ze sekce robot programu *main*, kde je pomocí stavového automatu popsáno chování robotu, respektive hodnoty jednotlivých proměnných, ve stavech celého zařízení. Ve stavu *machine_starting* je provedena inicializace signálů UI vysílaných robotovi na výchozí hodnoty. Ostatní stavy zpracovávají například přiřazení

signálu z rozhraní EUROMAP 67 na příslušné adresy DI robotu nebo na adresy proměnných HMI.

6.2.3 Průmyslová komunikace: Robotická buňka <> HMI Panel

Ke komunikaci s HMI panelem z řady NB jsou využívány globální proměnné publikované na síti Ethernet/IP. Pro sdílení konkrétní proměnné je potřeba jí přiřadit příslušnou adresu v paměti automatu. Příklad proměnných sdílených s HMI je na obrázku č. 48.



Name	Data Type	Initial Value	AT	Retain	Constant	Network Publish	Comment
JADRO_VYTAHOVAKY_1_V_POZICI_1_HMI	BOOL		%W36.13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Do not publish	
POVOLENI_JADRO_VYTAHOVAKY_1_DO_POZICE_2_HMI	BOOL		%W36.12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Do not publish	
POVOLENI_JADRO_VYTAHOVAKY_1_DO_POZICE_1_HMI	BOOL		%W36.11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Do not publish	
POVOLENI_NAPLNO_OTEVRET_FORMU_HMI	BOOL		%W36.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Do not publish	
POVOLENI_VYHAZOVAC_VZAD_HMI	BOOL		%W36.09	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Do not publish	
POVOLENI_VYHAZOVAC_VPRED_HMI	BOOL		%W36.08	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Do not publish	
OPERACNI_MOD_ROBOTA_HMI	BOOL		%W36.07	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Do not publish	
POVOLENI_UZAVRIT_FORMU_HMI	BOOL		%W36.06	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Do not publish	

Obr. 48: Proměnné pro HMI

Na HMI panelu jsou zobrazovány procesní informace z jednotlivých částí programu. Jedná se například o informaci o aktuálně zvoleném výrobku nebo o provozním stavu zařízení. Pomocí HMI lze v manuálním režimu ovládat pneumatické a jiné akční prvky. Pro možnost manuálního ovládání jsou vytvořeny samostatné proměnné s příponou HMI. V manuální režimu je hodnota těchto proměnných přiřazena daným funkčním blokům. Aby nedocházelo ke kolizním stavům, je v jednotlivých sekcích programu prováděna jejich inicializace na výchozí hodnotu. Tato inicializace je realizována s využitím stavového automatu pomocí přiřazení aktuálních hodnot proměnných funkčním blokům akčních členů v jiných režimech zařízení než manuálním.

6.3 Řízení průmyslového robotu

Řízení robotu je realizováno pomocí několika programů a nastavení kontroléru robotu. Tento soubor byl připraven v simulačním software Roboguide a dokončen na skutečném robotu pomocí ovladače iPendant Touch. Pro tvorbu řídicích programů je k dispozici základní jazyk TP (*Teach pendant Program*) a méně používaný jazyk KAREL, který však neumožňuje ovládat pohyb robotu. Jazyk TP nabízí základní pohybové a logické instrukce a svou funkcionalitou se podobá Assembleru [27]. Všechny programy vytvořené pro řízení této aplikace byly vytvořeny v jazyce TP. Pro ukládání informací slouží nabídka datových registrů. Základní registry uchovávají číselná data a poziční registry údaje o poloze. Údaje o poloze mohou být reprezentovány pomocí vztažných souřadných systémů nebo hodnot natočení jednotlivých os robotu. K řízení periférií připevněných na robotu slouží digitální vstupy a výstupy EE (*End Effector*) konektoru robotu (konektor koncového efektoru). Nástrojem pro komunikaci s jinými řídicími

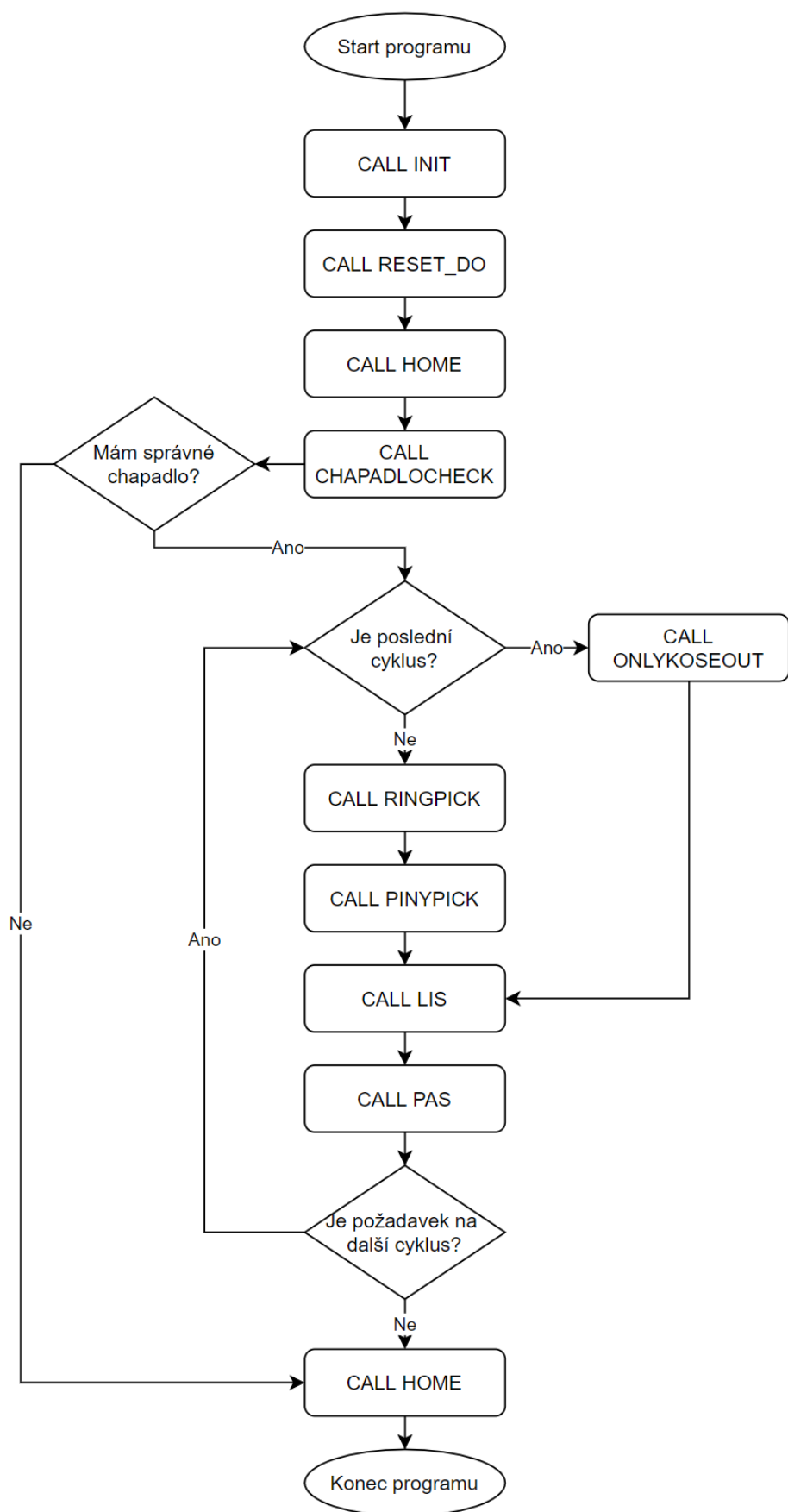
systemy je nabídka digitálních, případně analogových signálů. Základní digitální signály DI/DO mohou být sdíleny pomocí průmyslové sítě nebo pomocí přídavných modulů digitálních vstupů a výstupů. Pro odeslání nebo příjem nezáporných číselných hodnot slouží signály GI a GO (*group input, group output*). Pro řízení spouštění programů a chodu zařízení slouží skupina signálů UOP (*user operator panel*) které jsou zobrazeny na obrázku č. 49.

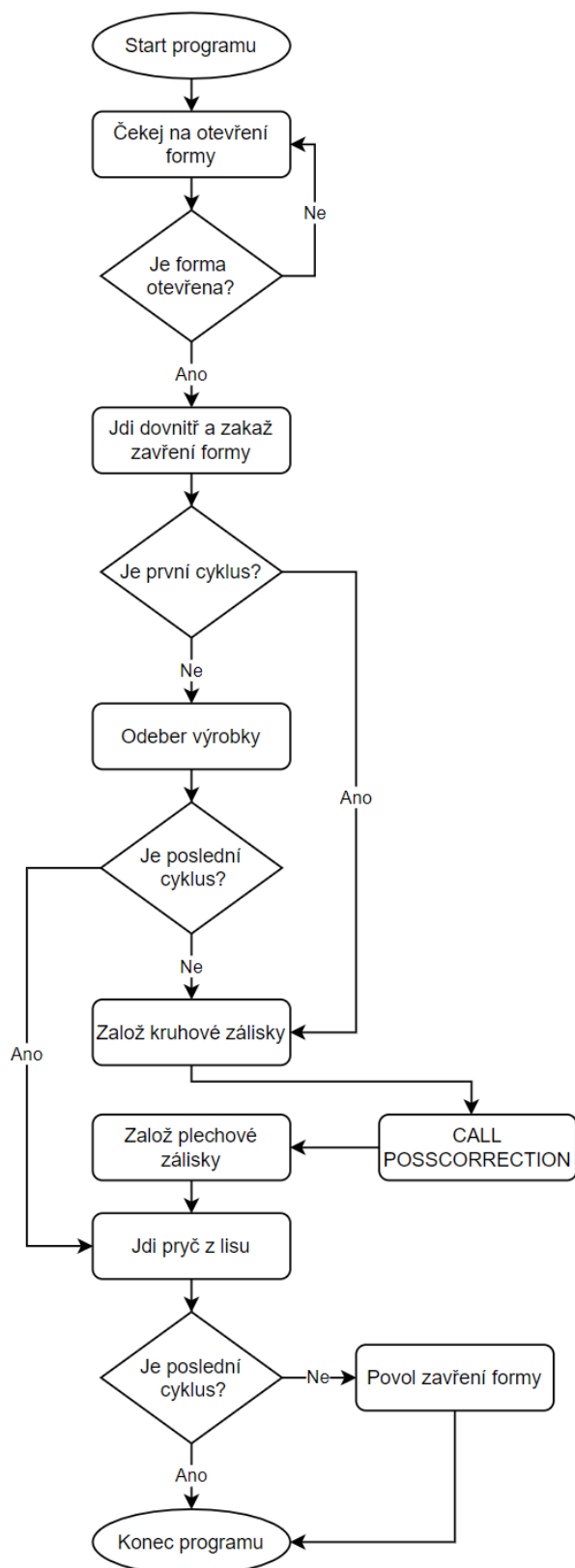
I/O UOP In				I/O UOP Out			
	#	STATUS	18/18		#	STATUS	20/20
UI[	1]	ON	[*IMSTP	UO[	1]	OFF	[Cmd enabled
UI[	2]	ON	[*Hold	UO[	2]	ON	[System ready
UI[	3]	ON	[*SFSPD	UO[	3]	OFF	[Prg running
UI[	4]	OFF	[Cycle stop	UO[	4]	OFF	[Prg paused
UI[	5]	OFF	[Fault reset	UO[	5]	OFF	[Motion held
UI[	6]	OFF	[Start	UO[	6]	OFF	[Fault
UI[	7]	OFF	[Home	UO[	7]	ON	[At perch
UI[	8]	ON	[Enable	UO[	8]	ON	[TP enabled
UI[	9]	OFF	[RSR1/PNS1/STYLE1]	UO[	9]	OFF	[Batt alarm
UI[	10]	OFF	[RSR2/PNS2/STYLE2]	UO[	10]	OFF	[Busy
UI[	11]	OFF	[RSR3/PNS3/STYLE3]	UO[	11]	OFF	[ACK1/SNO1
UI[	12]	OFF	[RSR4/PNS4/STYLE4]	UO[	12]	OFF	[ACK2/SNO2
UI[	13]	OFF	[RSR5/PNS5/STYLE5]	UO[	13]	OFF	[ACK3/SNO3
UI[	14]	OFF	[RSR6/PNS6/STYLE6]	UO[	14]	OFF	[ACK4/SNO4
UI[	15]	OFF	[RSR7/PNS7/STYLE7]	UO[	15]	OFF	[ACK5/SNO5
UI[	16]	OFF	[RSR8/PNS8/STYLE8]	UO[	16]	OFF	[ACK6/SNO6
UI[	17]	OFF	[PNS strobe	UO[	17]	OFF	[ACK7/SNO7
UI[	18]	OFF	[Prod start	UO[	18]	OFF	[ACK8/SNO8
				UO[	19]	OFF	[SNACK
				UO[	20]	OFF	[Reserved

Obr. 49: Signály robotu UOP

Pro výběr programu jsou k dispozici signály UI9 až UI16. K řízení robotu bylo celkem napsáno přes 30 programů. Základní program spouštěný při automatickém cyklu je program *MAIN*. Program obsahuje volání logicky rozčleněných podprogramů a řízení pracovního cyklu. Vývojový diagram popisující logiku pracovního cyklu je zobrazen na obrázku č. 50. Samostatným druhem podprogramu je tzv. *makro*. Jedná se o programy, které neobsahují pohybové instrukce a je možné jejich spuštění přiřadit tlačítku na ovladači robotu. Programy typu makro jsou použity pro ovládání periférií na chapadle robotu.

Jedním z významných podprogramů je soubor LIS, který řídí činnost robotu při práci ve vstřikovacím lise. Program obsahuje instrukce pro spínání signálů rozhraní EUROMAP 67. Cyklus programu je rozdělen na tři části. Odebrání hotových kusů, založení kruhových zálisků a založení zálisků plechových. Před založením plechových zálisků je volán program *POSCORRECTION*, který porovnává aktuální polohu otevřené části formy s polohou uloženou v pozičním registru a vypočítává potřebný *OFFSET* (odsazení pozice robotu) pro úspěšné provedení operace. Celý cyklus programu LIS je znázorněn na obrázku č. 51.

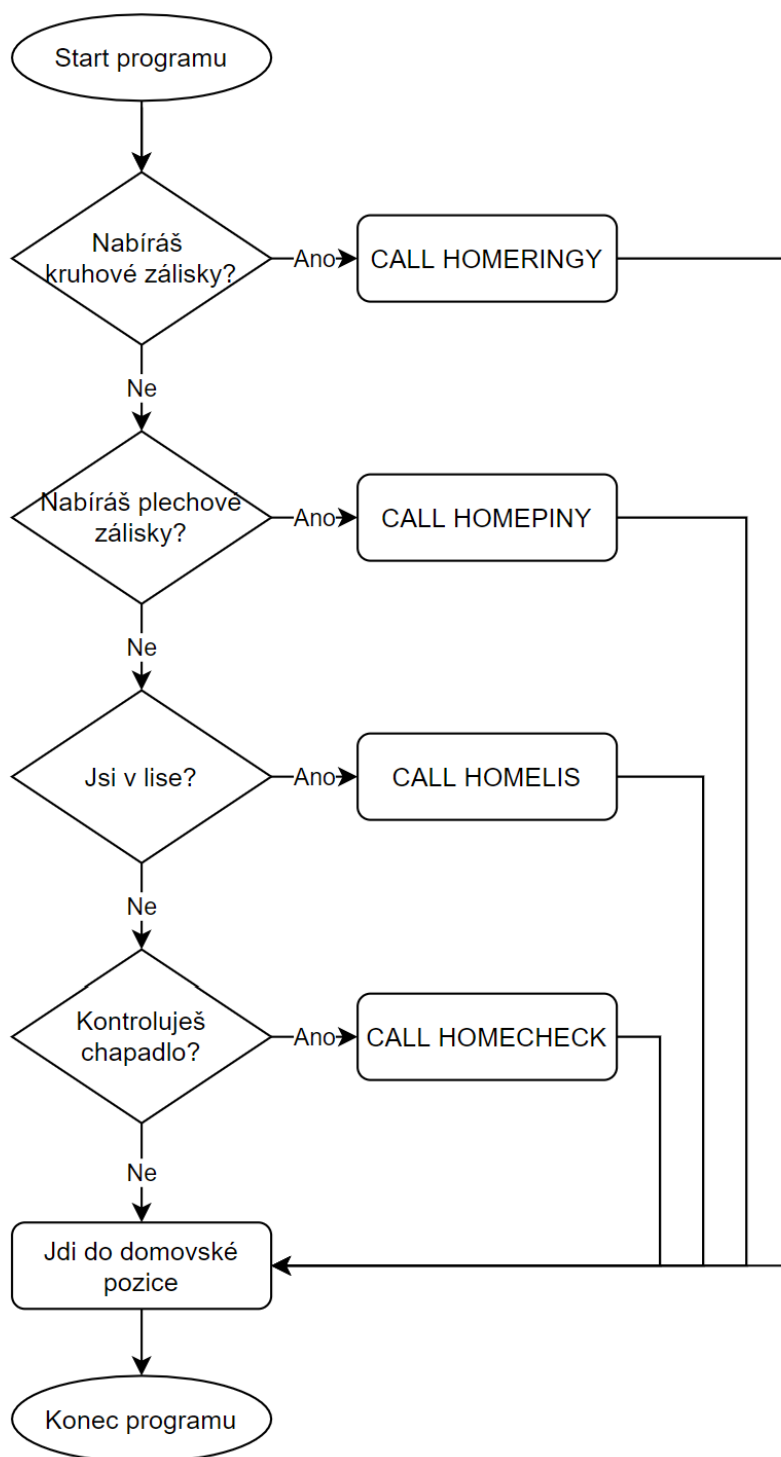
Obr. 50: Pracovní cyklus robotu programu *MAIN*



Obr. 51: Cyklus robotu v lise

Druhým programem, který je možné spustit z PLC je program *HOME* sloužící pro návrat robotu do výchozí pozice. Pokud není robot v této pozici, není možné spustit

automatický cyklus celého zařízení. Program *HOME* obsahuje logiku pro bezpečný automatický návrat robotu z jakékoliv procesní pozice. Tato funkce je umožněna načtením aktuální lineární pozice a nastavováním registrů v různých pracovních podprogramech, které určují, v jaké části zařízení se robot nachází a jaké pohyby jsou nutné pro jeho spolehlivý návrat. Základní struktura programu *HOME* je na obrázku č. 52.



Obr. 52: Program pro návrat robotu do domovské pozice

Kromě spuštěného hlavního programu pomocí PLC existuje i možnost spuštění programu běžícího ve smyčce na pozadí. Jedná se o tzv. *Background Logic*. Tato funkce je využita pro program *POSINLISSAFETY*, který odesílá aktuální polohu robotu do PLC pomocí výstupu GO. V PLC je tato hodnota využita pro zablokování signálů povolujících zavření formy v případě uživatelské chyby v programu robotu.

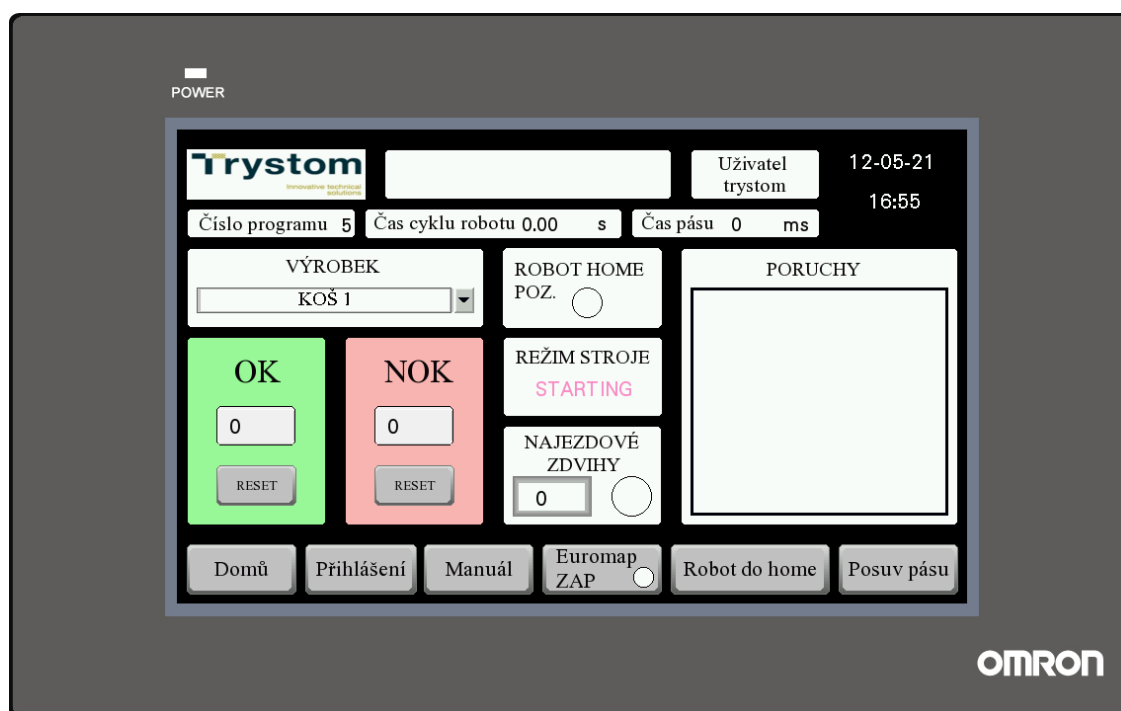
6.4 Návrh uživatelského rozhraní HMI

Součástí řídicího systému je HMI rozhraní (*Human-Machine Interface*), jehož software byl připraven pomocí nástroje NB-Designer. Jedná se o program pro tvorbu obrazovek pro terminály ze série NB, které nejsou součástí platformy Sysmac. Pro robotické pracoviště bylo připraveno celkem 5 uživatelských oken. Hlavní okno můžeme vidět na obrázku č. 53. Uživatelské okno slouží pro základní operátorské vstupy a pro zobrazení přehledu informací o zařízení. Hlavní funkcí je výběr výrobku ze seznamu produktů. K tomuto účelu byl využit nástroj *Word Switch*. Zvolený název představuje číselnou konstantu, která je odesílána do PLC. Pod výběrovým oknem se nachází přehledová počítadla počtu vyrobených kusů. V prostřední části obrazovky je informační pole pro zobrazení zda je robot ve výchozí poloze a v jakém režimu se zařízení nachází. Pod přehledy je další okénko pro uživatelský vstup. Konkrétně se jedná o požadovaný počet nájezdových zdvihů, které mají být vyhozeny na NOK skluz. Na pravé straně se nachází tabulka pro zobrazování poruch zařízení. K této funkci bylo využito nástroje *Event* nabízeného v prostředí NB-Designer. Jedná se o databázi chybových hlášek. Vyvolání každé hlášky je podmíněno zvoleným bitem na konkrétní adrese posílaným z PLC.

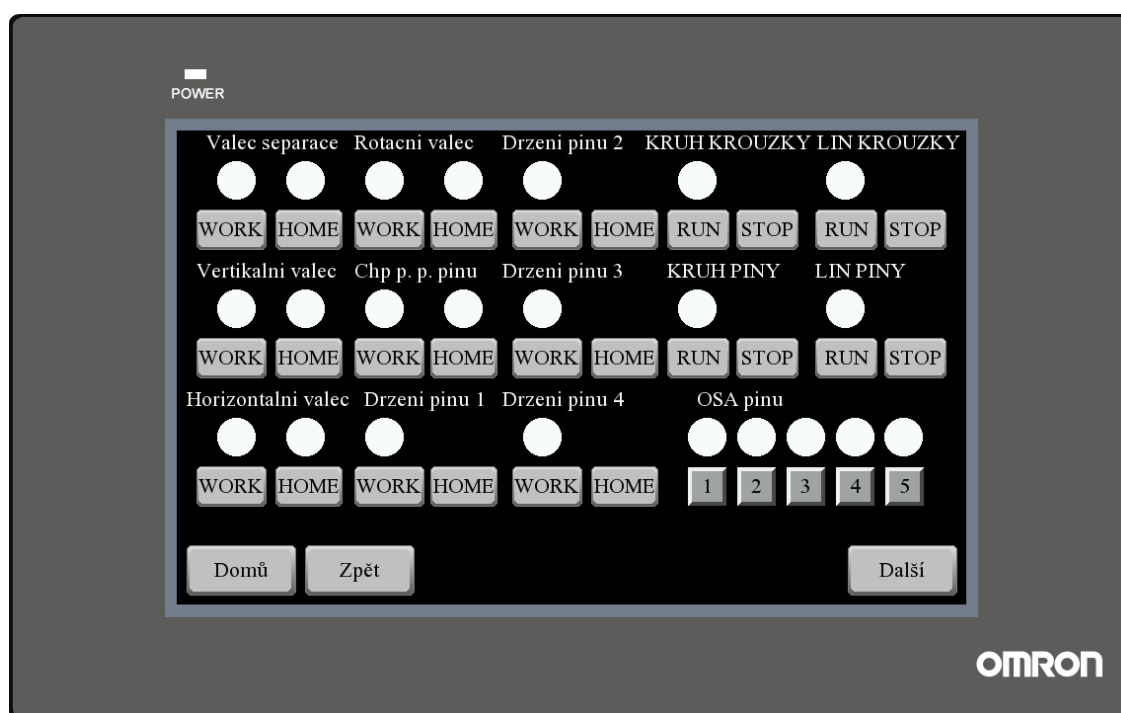
V horní části obrazovky se nachází pole pro zobrazení informačních hlášek vyvolávaných, podobně jako poruchy, pomocí proměnných přijímaných po sběrnici Ethernet/IP. V pravém horním rohu najdeme zobrazení přihlášeného uživatele a aktuální čas. Prostředí nabízí možnost až 31 různých uživatelů a 31 úrovní uživatelské oprávněnosti. Byly zvoleny 3 uživatelé s celkem 3 úrovněmi oprávnění.

Ve spodní části displeje jsou umístěna tlačítka pro přepínání mezi jednotlivými okny, přihlášení uživatele a rychlé vykonání určitých úkonů. Zobrazení některých tlačítek je podmíněno uživatelskou oprávněností, vstupem z PLC a provozním režimem.

Kromě hlavního okna zařízení obsahuje 4 další pohledy přístupné přes tlačítko Manual. Přístup do manuálních oken mají pouze uživatelé trystom a servis. První okno manuálního režimu je zobrazeno na obrázku č. 54 a slouží k ovládání pneumatických zařízení, elektrického servopohonu a vibračních podavačů.

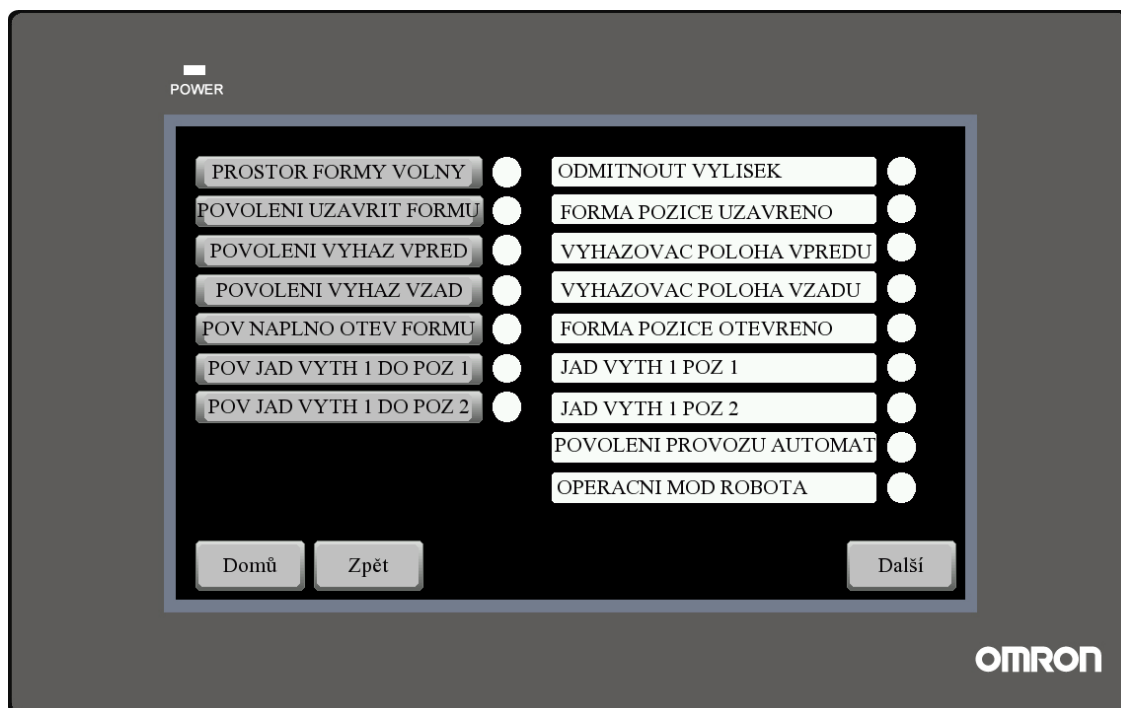


Obr. 53: Hlavní uživatelské okno HMI



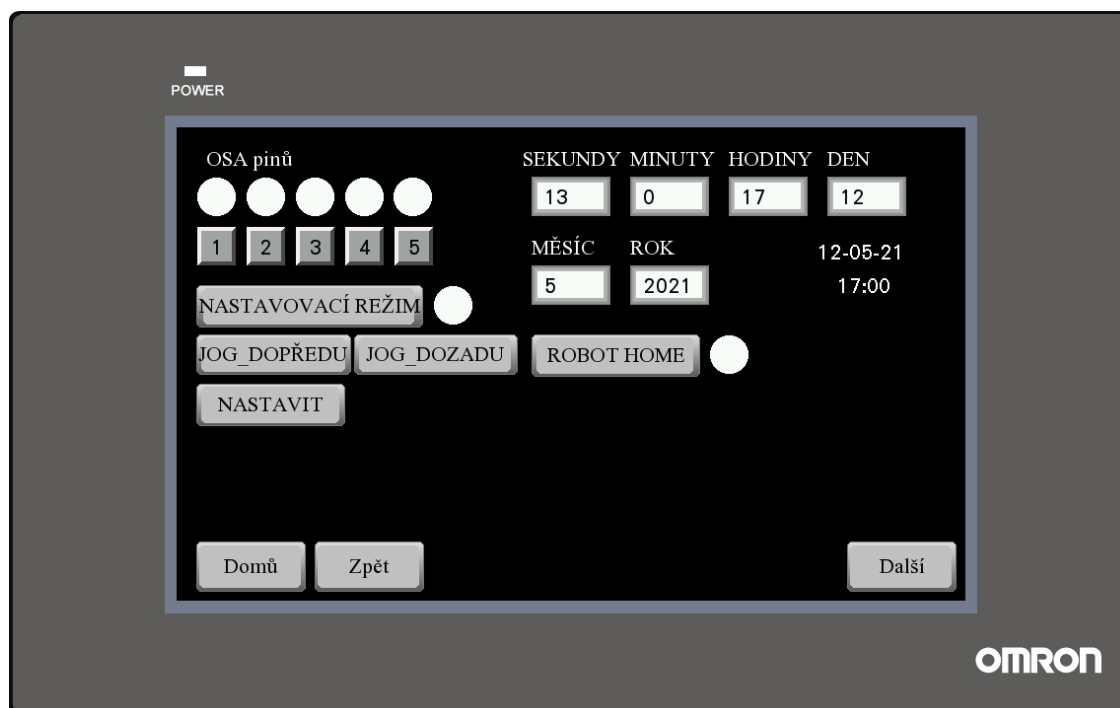
Obr. 54: Uživatelské okno pro manuální ovládání zařízení

Pomocí navigačních tlačítek ve spodní části se dostaneme na následující uživatelské okno, které umožňuje zobrazení a nastavování jednotlivých signálů pro EUROMAP 67. Tyto signály je třeba manuálně nastavovat pro možnost uživatelem řízeného pohybu formy ve vstřikovacím lise.



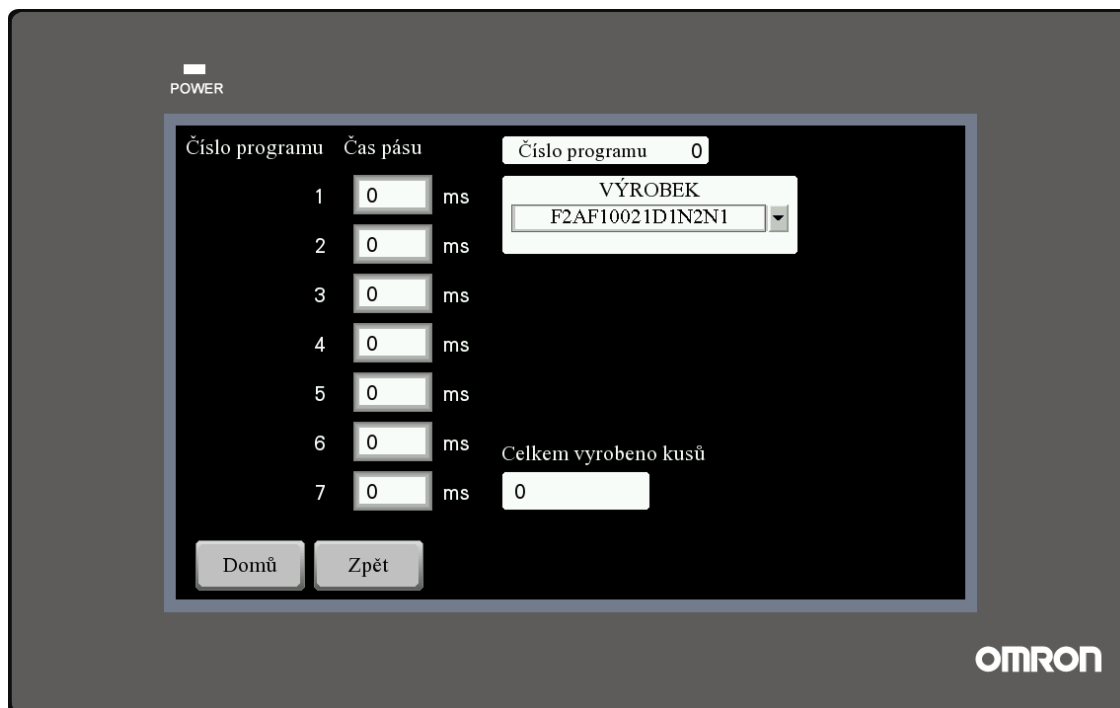
Obr. 55: Uživatelské okno pro nastavení rozhraní EUROMAP 67

Další okno slouží primárně k nastavení elektrického servopohonu a času. V levé části se nachází tlačítka pro pohyb s pohonem, zvolení indexu požadované pozice, aktivaci nastavovacího režimu a nahrání aktuální pozice.



Obr. 56: Uživatelské okno pro nastavení poloh elektrického servopohonu

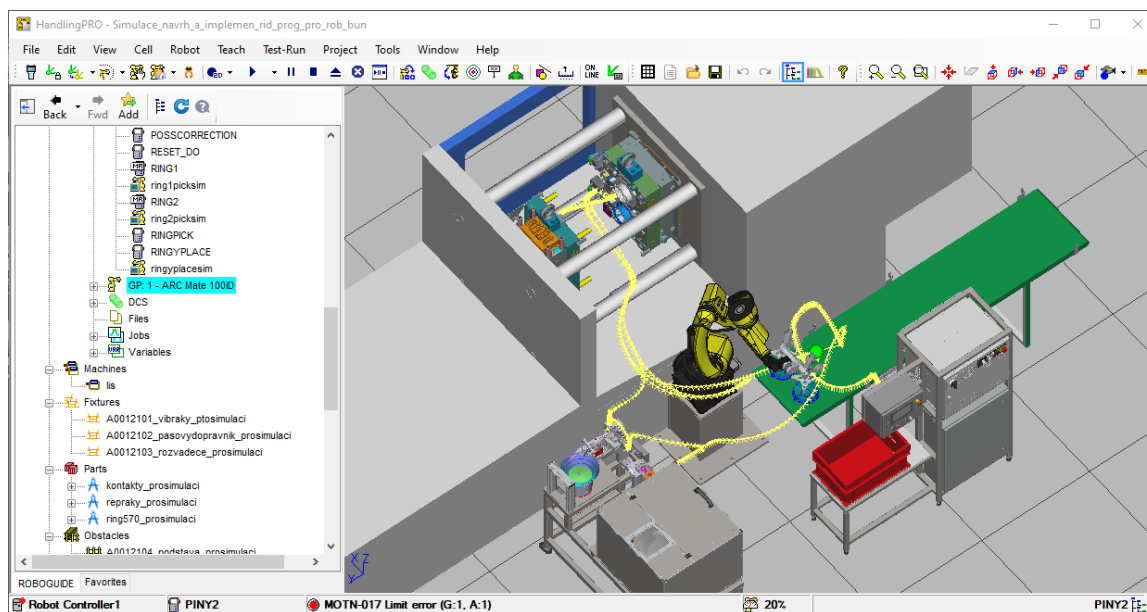
Účelem posledního okna vizualizace je nastavení časových konstant kroku pásového dopravníku. Důvodem k rozlišení tohoto údaje jsou odlišné velikosti výrobků. V dolní části displeje je zobrazení celkového počtu vyrobených kusů od zavedení zařízení do provozu. Poslední uživatelské okno je na obrázku č. 57.



Obr. 57: Uživatelské okno pro nastavení kroku pásového dopravníku

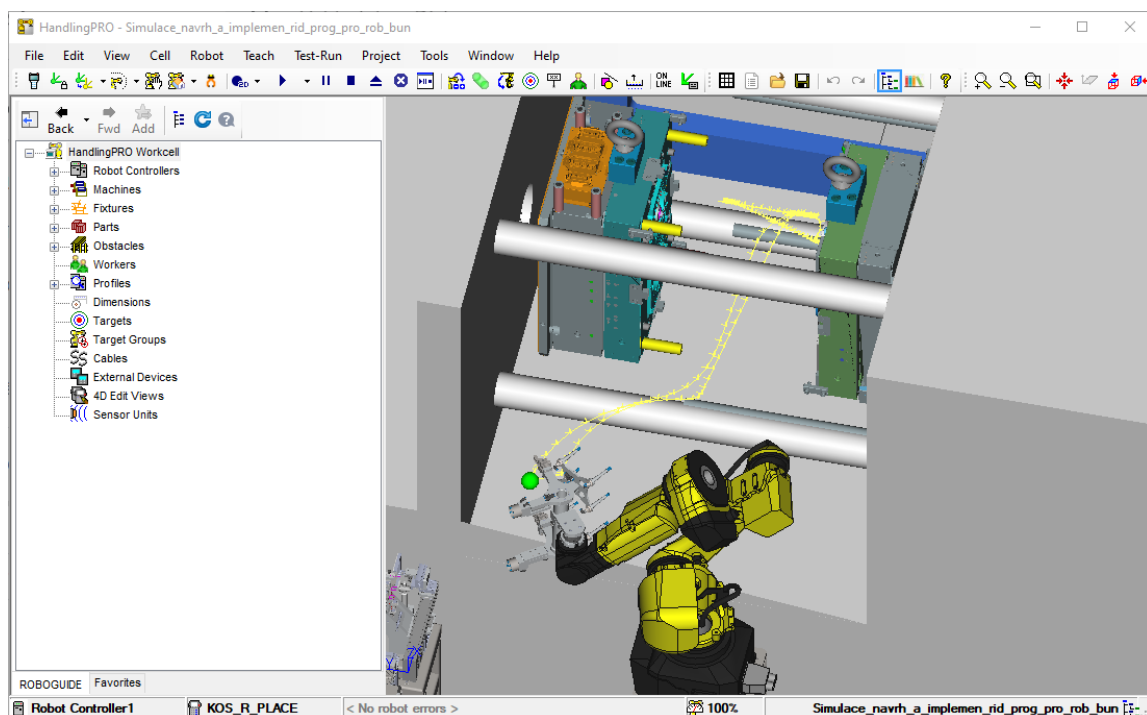
6.5 Simulace

Cílem tvorby simulace je příprava logiky programu robotu, jeho trajektorie a ověření cyklového času. Sekundární účelem je tvorba vizualizace. Pro tvorbu simulace bylo využito 3D modelů exportovaných z programu Solidworks. 3D modely značně usnadnily přípravu trajektorie a byl tak zkrácen čas potřebný na programovou přípravu před oživením skutečného robotu. Kromě základních programů TP byly využity programy simulační. Jedná se o řídicí prvek použitelný pouze v prostředí Roboguide. Účelem těchto programů je vizualizace uchopení a umístění objektů pomocí chapadla robotu. Simulační programy slouží jako náhrada programů pro ovládání periférií na skutečném robotu. Další úpravy provedené pro spuštění simulace byly provedeny na místech programu, kde robot čeká na signály z PLC. Příklad trajektorie TCP (*Tool Center Point*) robotu při primárním pracovním cyklu je na obrázku č. 58.



Obr. 58: Dráha robotu při pracovním cyklu

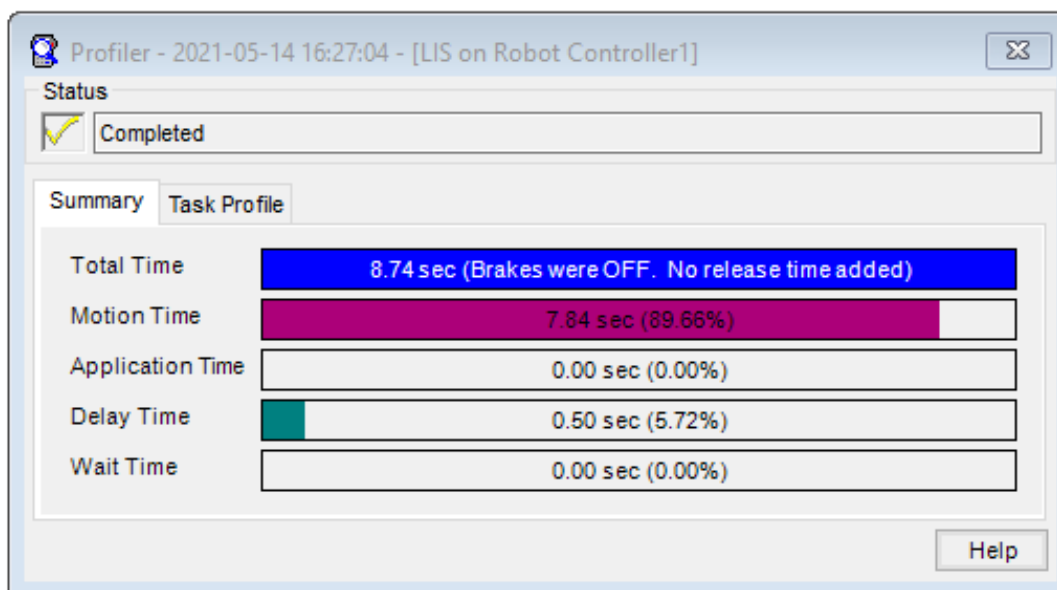
Hlavním cílem tvorby simulace v Roboguide bylo ověření cyklového času robotu při práci v lise, který je rozhodující pro celkový čas cyklu. K tomuto úkolu byl použit pro potřeby simulace upravený program LIS. Výsledná trajektorie robotu v lise je zobrazena na obrázku č. 59.



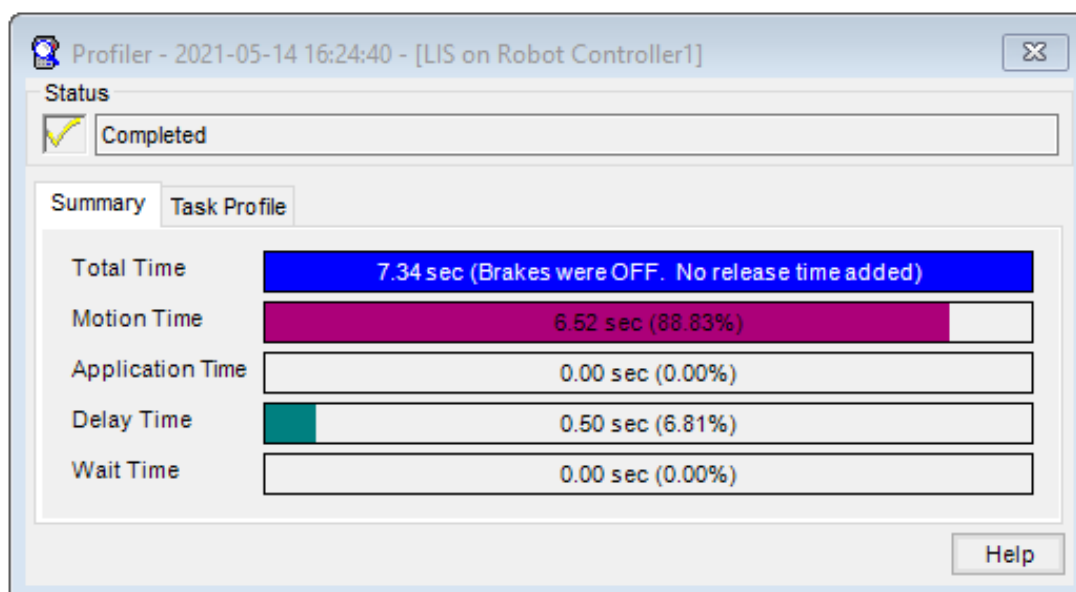
Obr. 59: Dráha robotu při pracovním cyklu v lise

Důležitým faktorem ovlivňujícím validitu dosaženého výsledku je nastavení zatížení robotu tzv. *payloade*. Jedná se o informaci o váze a těžišti vybavení připevněného na 6. ose robotu, tedy o chapadlo. Test byl proveden ve dvou variantách. Při 80%

maximální rychlosti robotu při daném zatížení a při rychlosti 100%. Přehledové tabulky výsledků z prostředí Roboguide jsou uvedeny na obrázcích č. 60 a č. 61.



Obr. 60: Výsledné časy cyklu v lise při 80% rychlosti robotu



Obr. 61: Výsledné časy při 100% rychlosti robotu

Tab. 3: Výsledky testování programu LIS pomocí simulace

Rychlost	Cyklový čas	Max. dovolený čas	Rozdíl časů
80 %	8,74 s	12,00 s	3,26 s
100 %	7,34 s	12,00 s	4,66 s

Z tabulky č. 3 je patrné, že při obou rychlostech byl splněn požadavek cyklu kratšího než 12 s. V tabulkách výsledků ze simulačního prostředí můžeme vidět, že složka *Wait Time* má nulovou hodnotu. Jedná se o čas, který robot čeká na splnění určité podmínky. Příkladem může být čekání na otevření pneumatického chapadla. Přesná hodnota těchto časů není známá, a proto jsou v simulačním prostředí zanedbány. Důležitou hodnotou je rozdíl předpokládaného a maximálního cyklového času, který slouží jako rezerva pro tato zpoždění. Z výsledných časů obou testů je patrné, že při maximální rychlosti robotu se čas pohybu zkrátil o 1,4 s. Velikost rozdílu je ovlivněna charakterem pohybů prováděných při obsluze formy. V programu je převážně využit lineární pohyb s konstantní rychlostí, který není změnou *override* (procentuální hodnota rychlosti robotu) ovlivněn, pokud je jeho rychlost nižší než hodnota *override*.

6.6 Skutečná robotická buňka

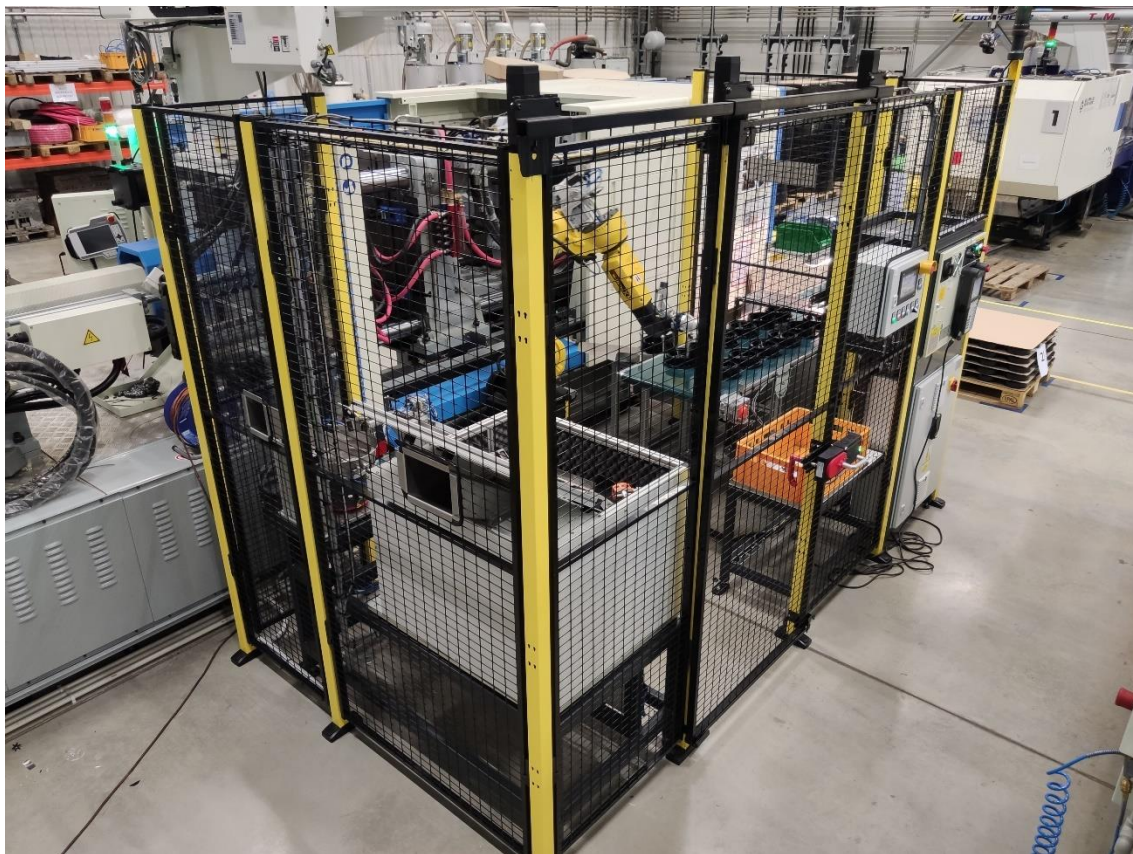
Na závěr byly navržené programy implementovány do skutečné robotické buňky. Po oživení jednotlivých komponent a aktualizaci poloh robotu podle skutečného rozestavení proběhlo testování funkčnosti navrženého řešení. Následovaly úpravy v programech a odladění chodu celého zařízení. Během testování se vyskytovaly různé technické problémy s mechanickým řešením vibračních podavačů, které snižovaly spolehlivost funkce celé buňky. Významnou změnou provedenou při instalaci byla úprava trajektorie zakládání plechových zálisků. Příčinou byl omezený prostor ve formě a mechanické nepřesnosti dílců na chapadle robotu. Výsledné cyklové časy po úspěšném odladění stroje jsou uvedeny v tabulce č.4.

Tab. 4: Výsledky skutečné robotické buňky

Rychlost	Cyklový čas v lise	Max. dovolený čas	Rozdíl časů	Celkový cyklový čas
80 %	9,44 s	12 s	2,56 s	51,44 s
100 %	8,33 s	12 s	3,67 s	50,33 s

Rozdíl skutečného cyklového času robotu v lise oproti času simulačnímu je dán zpožděními prvků na chapadle a v lise. Jedná se o čas mechanických pohybů vyhazovačů formy, zpoždění vytvoření vakua a zpoždění mechanického přestavení pneumatických chapadel. Dalším faktorem ovlivňujícím rozdíly je odlišná pozice jednotlivých prvků oproti přesnému rozestavení v simulaci.

Výsledný cyklový čas je dán nastavením vstřikovacího procesu. Díky poměrně vysokému času vstřikování mohl být snížen *override* pohybů robotu mimo lis na 60 %. Tím byla prodloužena jeho životnost. Skutečná robotická buňka je na obrázku č. 62.



Obr. 62: Skutečná robotická buňka

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo nastudování problematiky manipulačních robotických pracovišť a zpracování přehledu aktuálního stavu v dané oblasti. Dále rešerše řídicích prostředků společnosti Omron a vývojového prostředí Sysmac Studio, rešerše průmyslových robotů od společnosti Fanuc s bližším popisem robotu M - 10 iD/12 a vývojového prostředí Roboguide. Dalším cílem byl popis a detailní charakteristika robotické buňky, návrh a implementace řídicího programu, ověření funkčnosti navrženého řešení pomocí simulace a na reálné robotické buňce.

V rámci rešeršní části práce byla popsána problematika manipulačních robotických pracovišť a zpracován přehled současného stavu v dané oblasti. V další kapitole byla představena společnost Omron a její sortiment. Samostatná podkapitola byla věnována popisu řídicího automatu NX1P2, který byl využit k řízení robotické buňky. Kapitola byla zakončena popisem vývojového prostředí Sysmac Studio sloužícího k tvorbě řídicích programů pro PLC z řady NX a NJ. Následující kapitola byla zaměřena na společnost Fanuc. Byla popsána historie firmy a představen sortiment společnosti s důrazem na průmyslové roboty. Blíže byl představen model robotu M - 10 iD/12 použitého ke spolupráci se vstřikovacím lisem. Kapitola byla zakončena představením prostředí Roboguide sloužícího k tvorbě simulací pro roboty společnosti Fanuc.

První kapitola praktické části byla věnována představení robotické buňky včetně požadavků a nároků na pracoviště. Následuje popis navrhnutého konstrukčního řešení a jednotlivých částí pracoviště. Dále byly popsány prvky řídicího systému jako jsou elektronické regulátory vibračních podavačů nebo ventilový terminál od společnosti Festo pro ovládání pneumatických válců. Část kapitoly byla věnována popisu vybavení průmyslového robotu včetně koncového efektoru a ovládacích pneumatických prvků umístěných na 3 ose zařízení. Konec kapitoly popisuje zapojení jednotlivých pneumatických prvků a systémovou integraci řídicích prostředků. K systémové integraci byly využity průmyslové sběrnice Ethernet/IP k propojení PLC a HMI, EtherCAT k propojení PLC, robotu a ventilového terminálu a rozhraní Euromap 67 ke komunikaci se vstřikovacím lisem.

V rámci poslední kapitoly praktické části byly navrženy řídicí programy pro robotickou buňku. První program pro PLC byl vytvořen v prostředí Sysmac s využitím principu stavového automatu. Pro hlavní části programu byly vytvořeny vývojové diagramy popisující jejich funkci. Dále byly vytvořeny řídicí programy pro průmyslový robot. Příprava programů proběhla v simulačním prostředí Roboguide, do kterého byl vložen 3D model pracoviště. V rámci simulace byl úspěšně ověřen požadovaný cyklový čas robotické manipulace ve vstřikovacím lise. Další část návrhu byla věnována přípravě vizualizace aplikace pro HMI panel. Uživatelská okna byla připravena v prostředí NB-Designer. Připravené programy byly implementovány do skutečné robotické buňky. Po první implementaci následovalo odladňování chodu jednotlivých prvků robotické buňky a ověřování funkčnosti připraveného programového řešení. Program byl během fáze

implementace upravován pro správnou funkci a podle požadavků zákazníka. Celá robotická buňka byla zprovozněna a byl otestován její chod. Během testovacího provozu došlo k optimalizaci řídicího programu robotu pro zrychlení cyklového času manipulace v lise, jehož finální hodnota je 8,33 s. Výsledný čas je asi o 1 s delší než čas ověřený simulací. Důvody těchto odlišností jsou v práci blíže vysvětleny. I přes navýšení skutečného času oproti času simulačnímu byl s rezervou splněn požadavek času kratšího než 12 s. Během testovacího provozu byla průběžně upravována podoba vizualizace podle nově vznikajících potřeb a požadavků zákazníka. Úskalím způsobujícím potíže při testování zařízení byly konstrukční nedostatky řešení vibračních podavačů, které značně snižovaly spolehlivost automatického cyklu. Závady byly odstraněny mechanickými úpravami a úpravou řídicího programu PLC. S odstraněním nedostatků vibračních podavačů bylo docíleno spolehlivého chodu celého zařízení.

V následujících měsících bude dokončena stavba dvou kopií popisovaného robotického pracoviště a bude připraveno rozšíření o nové druhy výroků. V případě dalších úprav řídicích programů by bylo vhodné doplnit detailnější sledování činnosti robotu pro usnadnění zjišťování příčiny zastavení automatického cyklu. Funkce do systému nebyla implementována z časových důvodů. Další změnou by mohlo být přehlednější zpracování receptur. Tento nedostatek byl způsoben pozdním zjištěním odlišností jednotlivých výrobků, které nebyly při fázi návrhu zohledněny.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] T. Beránková, „iROZHLAS,“ 22 Červen 2019. [Online]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/ekonomika/automatizace-robotizace-pracovnici-prumysl-firmy-asociace-malych-a-strednich_1906221145_dok. [Přístup získán 15 Květen 2021].
- [2] „Průmysl 4.0,“ 29 Srpen 2020. [Online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmysl_4.0. [Přístup získán 15 Duben 2021].
- [3] P. Korbel, „Hospodářské Noviny,“ 17 Květen 2015. [Online]. Dostupné z: <https://byznys.ihned.cz/c1-64009970-prumyslova-revoluce-4-0-za-10-let-se-tovarny-budou-ridit-samy-a-produktivita-vzroste-o-tretinu>. [Přístup získán 17 Duben 2021].
- [4] W. ALLEN, „6river.com,“ 22 Únor 2021. [Online]. Dostupné z: <https://6river.com/what-is-a-pick-and-place-robot/#:~:text=Pick%20and%20place%20robots%20are,helps%20to%20increase%20production%20rates>.
- [5] K. Zdeněk, „Průmyslové roboty,“ Brno, 2014.
- [6] K. Zdeněk, Roboty a robotizované výrobní technologie, Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016.
- [7] „RobotWorkx,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/assembling-technology-assembly-robots-in-electronics-manufacturing>. [Přístup získán 18 Duben 2021].
- [8] „Systems Integration, s.r.o.,“ [Online]. Dostupné z: <https://systemsintegration.cz/2018/09/07/paletizace-a-depaletizace-jednotlivych-vrstev-rychle-a-snadno/>. [Přístup získán 18 Duben 2021].
- [9] „CANDELOR,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.candelor.com/candelor-for-bin-picking-applications/>. [Přístup získán 18 Duben 2021].
- [10] „Cincinnati Automation Ltd,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.cincinnatiautomation.com/fanuc/fanuc-integrated-inspection-machines.html>. [Přístup získán 18 Duben 2021].
- [11] C. Sam, Industrial Robotics, Mammendorf : Pro-Literatur-Verl, 2006.
- [12] S. Bruno a O. Khatib, Springer handbook of robotics, Berlín: Springer, 2019.
- [13] „Epson America, Inc.,“ [Online]. Dostupné z: <https://epson.com/For-Work/Robots/SCARA/Epson-Synthis-T3-All-in-One-SCARA-Robots/p/RT3-401SS>. [Přístup získán 18 Duben 2021].
- [14] „FANUC,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>. [Přístup získán 18 Duben 2021].

- [15] „FANUC America Corporation,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/m-2ia-delta-robots/m-2ia-3al>. [Přístup získán 18 Duben 2021].
- [16] „Doosan Robotics,“ [Online]. Dostupné z: <https://doosanrobotics.hu/termekek/kollaborativ-robotok-cobotok/m-series/m1509/>. [Přístup získán 18 Duben 2021].
- [17] C. Roser, „Industry 4.0,“ 4 Zář 2017. [Online]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry_4.0_\(cs\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry_4.0_(cs).png). [Přístup získán 18 Duben 2021].
- [18] „OMRON Corporation,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.omron.com/global/en/about/corporate/history/>. [Přístup získán 18 Duben 2021].
- [19] „Omron,“ [Online]. Dostupné z: <https://omron.cz/cs/home>. [Přístup získán 21 Duben 2021].
- [20] „statista,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/897201/global-plc-market-share-by-manufacturer/>. [Přístup získán 20 Duben 2021].
- [21] „OMRON průmyslová automatizace,“ [Online]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/home>. [Přístup získán 21 Duben 2021].
- [22] A. Vojáček, „automatizace.hw.cz,“ 8 Říjen 2017. [Online]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/test-vykonne-kompaktni-plc-omron-nx1p2-3dil-sysmacstudio.html>. [Přístup získán 22 Duben 2021].
- [23] A. Vojáček, „automatizace.hw.cz,“ 19 Srpen 2017. [Online]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/test-vykonne-kompaktni-plc-omron-nx1p2-2dil-hardware.html>. [Přístup získán 20 Duben 2021].
- [24] „statista,“ 2021. [Online]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/317178/leading-industrial-robot-companies-globally-by-revenue/>. [Přístup získán 5 Květen 2021].
- [25] „MECSPE,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.mecspe.com/it/initiative/dal-progetto-all-oggetto/leadway-blaze-ii-3200/>. [Přístup získán 2 Květen 2021].
- [26] „ifm electronic gmbh,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/de/en/product/O2D222>. [Přístup získán 03 Květen 2021].
- [27] „FESTO,“ [Online]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm. [Přístup získán 03 Květen 2021].
- [28] „Skipala s.r.o.,“ [Online]. Dostupné z: <http://www.skipala.cz/Elektronicke-Pristroje-Pro-Prumysl/Regulace-Vibracnich-Zasobniku/digitalni-regulator-pro-vibracni-zasobniky-digr2200d.html>. [Přístup získán 3 Květen 2021].
- [29] „RoboDK Inc.,“ [Online]. Dostupné z: <https://robodk.com/blog/off-line-programming/>. [Přístup získán 8 Květen 2021].

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

Obr. 1: Robot při montáži elektronických součástek [7]	18
Obr. 2: Aplikace paletizačního robotu [8]	19
Obr. 3: Šestiosý robot při aplikaci Bin Picking [5].....	19
Obr. 4: Robotické pracoviště pro inspekci kvality [10].....	20
Obr. 5: Šestiosý průmyslový robot Fanuc při manipulační úloze.....	21
Obr. 6: Scara robot od společnosti Epson [13]	22
Obr. 7: Delta robot Fanuc [15].....	22
Obr. 8: Kolaborativní robot značky Doosan [10]	23
Obr. 9: Průmyslové revoluce [17].....	24
Obr. 10: Trh s PLC 2017 [20].....	27
Obr. 11: Platforma Sysmac [21]	28
Obr. 12: NX1P2	29
Obr. 13: Sysmac Studio	30
Obr. 14: Trh průmyslovými roboty [24].....	31
Obr. 15: Průmyslový šestiosý robot Mate M-10iD/12 [14].....	33
Obr. 16: Pracovní rozsah robotu Mate M-10iD/12 [14].....	34
Obr. 17: Prostředí Roboguide	35
Obr. 18: Robotická buňka	37
Obr. 19: Rozestavení robotické buňky	38
Obr. 20: Sestava vibračních podavačů.....	39
Obr. 21: Sestava podavačů kruhových zálisků	40
Obr. 22: Sestava podavačů plechových zálisků.....	41
Obr. 23: Rám rozvaděčů	41
Obr. 24: Sestava robotu	42
Obr. 25: Periferie robotu	43
Obr. 26: Robotické chapadlo	44
Obr. 27: Pásový dopravní a NOK skluz	45
Obr. 28: Vstřikovací lis Leadway Blaze-II 3200 [19]	45
Obr. 29: Kamerový senzor ifm O2D222 [24].....	46
Obr. 30: Festo terminál MPA-S CPX [21]	46
Obr. 31: Konfigurace terminálu Festo MPA-S CPX [21]	47
Obr. 32: Úpravna vzduchu MSB4 [21].....	47
Obr. 33: Konfigurace úpravny vzduchu MSB4 [21]	47
Obr. 34: Regulátor Skipala DIDR-2200/D [26].....	48
Obr. 35: Ventilový terminál VTUG [21]	48
Obr. 36: Konfigurace ventilového terminálu VTUG [21]	49
Obr. 37: Vakuový ejektor OVEM [21]	49
Obr. 38: Ovládací panel	50

Obr. 39: Schéma zapojení pneumatického obvodu	50
Obr. 40: Systémová integrace	51
Obr. 41: Projektový strom programu PLC	54
Obr. 42: Stavový automat.....	54
Obr. 43: Enumerated machine_datatype	55
Obr. 44: Vývojový diagram stavového automatu	55
Obr. 45: Topologie sítě EtherCAT	56
Obr. 46: Konfigurace sítě EtherCAT	56
Obr. 47: Volba a spuštění programu robotu	57
Obr. 48: Proměnné pro HMI	58
Obr. 49: Signály robotu UOP.....	59
Obr. 50: Pracovní cyklus robotu programu <i>MAIN</i>	60
Obr. 51: Cyklus robotu v lise	61
Obr. 52: Program pro návrat robotu do domovské pozice	62
Obr. 53: Hlavní uživatelské okno HMI	64
Obr. 54: Uživatelské okno pro manuální ovládání zařízení	64
Obr. 55: Uživatelské okno pro nastavení rozhraní EUROMAP 67	65
Obr. 56: Uživatelské okno pro nastavení poloh elektrického servopohonu.....	65
Obr. 57: Uživatelské okno pro nastavení kroku pásového dopravníku.....	66
Obr. 58: Dráha robotu při pracovním cyklu	67
Obr. 59: Dráha robotu při pracovním cyklu v lise	67
Obr. 60: Výsledné časy cyklu v lise při 80% rychlosti robotu.....	68
Obr. 61: Výsledné časy při 100% rychlosti robotu	68
Obr. 62: Skutečná robotická buňka	70

Seznam tabulek

Tab. 1: Rychlosti os robotu Mate M-10iD/12 [14]	34
Tab. 2: Zadání robotické buňky	38
Tab. 3: Výsledky testování programu LIS pomocí simulace	68
Tab. 4: Výsledky skutečné robotické buňky	69